

11-21-1989

Acta carsologica, Volume 18, November 21, 1989

Peter Habič

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles

Recommended Citation

Habič, Peter, "Acta carsologica, Volume 18, November 21, 1989" (1989). *KIP Articles*. 69.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/69

This Article is brought to you for free and open access by the KIP Research Publications at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Articles by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact digitalcommons@usf.edu.

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA NARAVOSLOVNE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS

ZNANSTVENORAZISKOVALNI CENTER SAZU
INŠTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA - INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA

KRASOSLOVNI ZBORNIK

XVIII
1989

Gospodaričev zbornik, ob 300-letnici J.V.Valvasorja



LJUBLJANA
1989

SPREJETO NA SEJI RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 11. OKTOBRA 1989
IN NA SEJI PREDSEDSTVA
DNE 21. NOVEMBRA 1989

UREDNIŠKI ODBOR
JOŽE BOLE, JOŽE ČAR, IVAN GAMS, PETER HABIČ, ANDREJ KRANJC,
MARIO PLENIČAR

UREDNIK
PETER HABIČ

PREVODI POVZETKOV V TUJE JEZIKE IN V SLOVENŠČINO
MAJA KRANJC, JANJA KOGOVŠEK

Zamenjava – Exchange
Biblioteka SAZU
Novi trg 5/1, 61001, P.P. 323, Jugoslavija

Tiskano s subvencijo Raziskovalne skupnosti Slovenije in Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU

VSEBINA – INDEKS

<i>Urednik</i>	
K Gospodaričevemu zborniku	5
A Word to Gospodarič's Miscellany	6
<i>H. Moser</i>	
Rado Gospodarič und die Arbeitsgemeinschaft Tracerhydrologie (ATH)	8
Rado Gospodarič in delovna skupina za sledilno hidrologijo (ATH)	11
<i>Maja Kranjc</i>	
Bibliografija – prof.dr. Rado Gospodarič (1933 – 1988)	13
<i>Rado Gospodarič</i>	
Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke	21
The contribution to water economy bases of Pivka	34
<i>Derek Ford – Rado Gospodarič</i>	
U series dating studies of <i>Ursus spelaeus</i> deposits in Križna jama, Slovenia	39
Z U serijo določene starosti plasti z jamskim medvedom iz Križne jame, Slovenija	51
<i>Franco Cucchi – Paolo Forti</i>	
Prime datazioni assolute su una stalagmite del Carso Triestino	53
Prve absolutne datacije stalagmita s Tržaškega Krasa	62
<i>Fabio Forti</i>	
I grandi crolli nelle grotte del Carso Triestino – considerazioni e ipotesi	65
Veliki podori v jamah Tržaškega Krasa – ugotovitve in hipoteze	70
<i>Yves Quinif – Bruno Bastin</i>	
Modalités et chronologie de la sédimentation souterraine en Belgique au Pleistocène moyen et supérieur	71
Načini in kronologija podzemne sedimentacije v Belgiji v srednjem in zgornjem pleistocenu	87
<i>Mitja Brodar</i>	
Luknje v kosteh iz Dolarjeve jame in Nevelj	89
The hollows in the bones from Dolarjeva jama and Nevlje	101
<i>Andrej Kranjc</i>	
O krasu izven Kranjske v Valvasorjevem delu Slava vojvodine Kranjske	103
About karst phenomena out of Carniola, mentioned in Valvasor's "Die Ehre des Hertzogthums Crain"	112

<i>Ivo Štruel</i>	
Vloga kraških procesov pri nastanku severno karavanških Pb–Zn rudišč	113
The importance of karst processes at origin of North Karavanke Pb–Zn ore deposits	126
<i>Ladislav Placer – Bojan Ogorelec – Jože Čar – Miha Mišič</i>	
Nekaj novih podatkov o Ravenski jami na Cerkljanskem	129
Some new facts about Ravenska jama in Cerklno region	136
<i>Nadja Zupan</i>	
Mineralogija tektonske gline v Pivki jami	139
Mineralogy of tectonic clay in Pivka jama	156
<i>Stanka Šebela</i>	
Apnenec z roženci in njihov vpliv na velikost rogov v Postojnski jami	157
Impact of limestone with cherts on passages size in Postojnska jama	170
<i>Andrej Mihevc</i>	
Kontaktni kras pri Kačičah in ponor Mejame	171
Contact karst near Kačiče and ponor cave Mejame	194
<i>Tadej Slabe</i>	
Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen	197
Rocky features in Križna jama and their meaning for speleogenesis	218
<i>Janja Kogovšek – Andrej Kranjc</i>	
Vpliv kislh padavin na procese v Postojnski jami	221
The influence of acid precipitations to processes in Postojnska jama	232
<i>Peter Habič</i>	
Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomoškem razvodju	233
Pivka karst bifurcation on Adriatic – Black Sea watershed	263
<i>Primož Krivic – Mihael Bricelj – Martina Zupan</i>	
Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre	265
Underground water connections in Čičarija region and in Middle Istria	284
<i>Martina Zupan</i>	
Vplivi vodnega ekosistema na fluorescenčna barvila	297
The Influence of Water Ecosystem to Fluorescent Dyes	309
<i>Mihael Bricelj</i>	
Mikrobna sledila v kraški hidrologiji	311
Microbial tracers in karst hydrology	322

K GOSPODARIČEVEMU ZBORNIKU

V prejšnji številki našega krasoslovnega zbornika, *Acta carsologica* 17(1988), smo v spomin pokojnega prof. dr. Rada Gospodariča objavili le kratek nekrolog. Čas nam ne dopušča, da bi že sedaj temeljito ocenili njegov prispevek k slovenskemu in splošnemu krasoslovju ter speleologiji. Vrzeli, ki je nastala v našem delovnem kolektivu in med prijatelji krasoslovci drugod po svetu, ne moremo zapolniti. Mnogo prezgodaj je bila prekinjena njegova ustvarjalna dejavnost, ki je pomembno obogatila poznavanje našega klasičnega krasa. Da bi to prekinitve v našem zborniku vsaj delno ublažili, smo se obrnili na njegove ožje sodelavce s prošnjo, da prispevajo v zbornik, posvečen delu in ustvarjalnosti prof. dr. Rada Gospodariča, svojo izvirno znanstveno razpravo s področja, na katerem je sam deloval in bil z njim povezan. Nekateri v tem kratkem času niso utegnili pripraviti željenega članka, čeprav bi ga radi, ga bomo pa objavili morda kdaj kasneje. Mnogi so se na povabilo prijazno odzvali in iz njihovih prispevkov je zgrajen ta spominski zbornik. Ker letos praznujemo tudi pomembno obletnico prvega slovenskega krasoslovnega prispevka J.V. Valvasorja o jamah in drugih kraških pojavih v Slavi vojvodine Kranjske (1689) povezujemo s tem oba spomina.

Poleg zadnje Gospodaričeve razprave o vodnogospodarskih osnovah Pivke objavljamo tudi njegovo bibliografijo, da bi bralec lažje dobil vpogled v delo, ki ga je Rado Gospodarič opravil v času svojega zavzetega raziskovanja in preučevanja krasa. Ob študiju in srečanjih z raznimi pojavi na površju in v podzemlju si je sproti zastavljal vprašanja, na katera je skušal odgovoriti. Tako je njegovo delo zelo raznovrstno, saj obravnava jamske sedimente, v katerih so zabeleženi raznovrstni procesi, povezani z dogaňanji na površju skozi to ali ono geološko obdobje. Od spoznavanja teh procesov in njihovega zaporedja, ki se kaže v podzemeljskih odkladninah, je kmalu napravil pomemben korak naprej z ugotavljanjem njihovega relativnega časovnega razmerja, nato pa k poskusom določanja absolutne starosti preučevanih pojavov.

Preučeval je okolje, v katerem nastajajo kraške votline, in že na začetku raziskovalnih prizadevanj spoznal pomen vseh vrst ruptur, prelomov in razpok v kamninah, ki pomembno vplivajo na obliko in razpored votlin v krasu. Skušal je spoznati lokalni in regionalni značaj razlomljenosti ter vpliv ruptur na razpored in pretakanje podzemeljskih voda, kot pglavitnega aktivnega dejavnika pri izvotljevanju kraškega podzemlja in nastanku jam. Na tem pogledu temelji tudi njegov prispevek k hidrogeologiji krasa, speleohidrologiji in sledilni hidrologiji. Od prvotnega zanimanja za razpoke je segel njegov raziskovalni duh v celotno geološko zgradbo. S samostojnim kartiranjem je skušal oceniti vpliv različnih kamnin, njihove nagubanosti in tektonske pretrtosti ter razporeditve na oblikovanje jam in pretakanje voda. Kot geolog speleolog je bistveno presešel ustaljen način obravnave geološke podlage in njene speleogenetske funkcije.

Vsa njegova spoznanja pa slone na začetni sistematični speleografiji in speleometriji, oprti na lastne meritve in opazovanja. Ker so bili razpoložljivi amaterski jamski načrti premalo natančni za vnašanje geoloških podatkov, se je v vsaki jami lotil najprej speleoloških meritev in izdelave podrobnejših načrtov. S tem je opravil veliko delo in pripravil dragocene podlage tudi za naslednike, za kar je porabil pomemben del svoje ustvarjalne energije. Skoraj vse večje jame na našem krasu so bile z njegovo veliko prizadevnostjo ponovno izmerjene. Pri tem se je že znani jamski sistem nemalokrat bistveno povečal, kot na primer Skakavac pri Miljevini v Bosni, Karlovice ob Cerknškem jezeru, Pološka jama ali Kapsia na Peloponezu. Ta njegov pristop k poznavanju podzemlja je prispeval mnogo novih odkritij.

S posebno vztrajnostjo je razčlenjeval skoraj nerešljiva razmerja med kvartarnimi sedimenti, na katere je naletel v različnih jamah. Na podlagi izrednega pregleda in s primerjavo različnih lastnosti jamskih odkladnin je našel način za njihovo stratigrafsko in kronološko razvrstitev, kar mu je omogočilo primerjavo zelo različnih, prostorsko med seboj ločenih pojavov. Spoznaval je značilnosti čisto lokalnih in splošno regionalnih pojavov v našem domačem pa tudi v tujem krasu. Vse bolj se mu je širil pogled od drobnih lokalnih posebnosti v širše in splošne geokronološke značilnosti speleogenetskih dogajanj v kvartarju.

Kako je njegov izviren pogled na jamske oblike in vsebino pripomogel k novim spoznanjem, se lahko prepriča vsak iz objavljenih skic o razvojnih fazah Postojnske in drugih jam. Prav njegov geološko stratigrafski pogled na razmere v podzemlju mu je omogočil razvrstitev bogatega kapniškega okrasa v več generacij sigovih odkladnin v podzemlju, ne le po oblikah, ampak predvsem po zaporedju in razmerju z drugimi odkladninami. Pomen takšnega razčlenjevanja se je še posebej pokazal ob poskusih ugotavljanja absolutne starosti sig in drugih pojavov.

V objavljenih preglednicah se kaže njegovo prizadevanje po ureditvi in primerjavi zelo različnih, na videz nepovezanih oblik in pojavov. Prav ko je prihajal do novih spoznanj o splošnih zakonitostih kvartarnega razvoja krasa, je njegovo delo zastalo. Ostalo bo nedokončano kot torzo, ki mu umetnikova roka ni uspela vtisniti končne podobe. Njegove osebne zavzetosti in njemu lastnega znanstvenega pristopa ne more nihče nadomestiti. S svojim delom pa je nakazal pot, po kateri bo moral tisti, ki bi rad korak dalje v razumevanju krasa in kraškega podzemlja.

Urednik

A WORD TO GOSPODARIČ'S MISCELLANY

In the last number of our karstological miscellany, in Acta carsologica 17(1988) there was published in the memory of the deceased prof.dr. Rado Gospodarič just a short necrology. The time doesn't permit us to evaluate thoroughly his contribution to the slovene and general karstology and speleology. The vacancy in our working collective and among his friends karstologists elsewhere in the world cannot be filled. Too early his creative activity enriching the knowledge of classical karst was cut. To soothe at least partly this interruption in our miscellany we addressed his narrow collaborators with request to contribute to the miscellany dedicated to work and creativeness of prof.dr. Rado Gospodarič with their original scientific treatises from the topic where he had worked and had been connected to. In the short time some did not succeed to prepare the wished article although they would like to and maybe we shall publish it later. Many have answered kindly and the present memorial is built by their contributions. As we celebrate in this year the important anniversary of the very first slovene karstological contribution of J.V.Valvasor about caves and other karst phenomena published in Die Ehre des Herzogthums Krain (1689) we have tied the both memories together.

Beside the last Gospodarič's treatise about the water economy bases of Pivka his bibliography is published too that the reader could get better insight into the work done by Rado Gospodarič during the time of his assiduous karst investigations and studies. During his studies he met different phenomena on the surface and in the underground and every time new questions arose which he tried to answer. Therefore his work is very divers, treating cave sediments, where the processes connected to surface activities during this or that geological epoch are noted. From knowing these processes and their sequences shown in cave sediments he had soon made an important step forward by establishing their relative temporal relations and later to attempts of absolute datation of the studied phenomena.

He studied the environment where karst caverns develop and at the beginning of research efforts he found out the importance of all sorts of ruptures, faults and fissures in the rocks importantly influencing to shape and distribution of caves on karst. He tried to recognize the local and regional character of joints and the influence of ruptures to the distribution and flow of underground waters which present the main active factor hollowing the karst underground and cave development. On this point of view is based his contribution to karst hydrogeology, speleohydrology and water tracing hydrology. From the original interest to joints his research mind passed into entire geological setting. By independent mapping he tried to evaluate the influence of different rocks, their folding and tectonical crushed and distribution to the cave development and to the underground water flows. As geologist– speleologist he surpassed essentially the usual way of geological base treatment and its speleogenetical function.

All his recognitions are based on the initial systematical speleography and speleometry supported by his own surveys and observations. As the available amateur cave surveys were

not enough precise for completing the geological facts he started in each cave with speleological surveys at first and elaborated the precise cave maps. Though a great work was done and precious base for future was prepared and a lot of his creative energy used. Almost all bigger caves on our karst were resurveyed by the help of his extreme assiduity. Often the known cave system was enlarged essentially, as f.e. Skakavac near Miljevina in Bosnia, Karlovice at Cerkljiško polje, Pološka jama and Kapsia on Pelopponesus. Such accession to underground has contributed a lot of new discoveries.

With special assiduity he dismembered all almost unsolvable relations among the quaternary sediments which he met in different caves. On the base of extreme insight and by comparing different properties of cave deposits he found the way for their stratigraphic and chronological distribution which rendered possible the comparison of very different, spatially separated phenomena. He studied the properties of purely local and general regional phenomena on the karst at home and abroad. More and more his view was widened from small local properties into wider and general geochronological properties of speleogenetical development in Quaternary.

How his original view to cave shapes and content has contributed to new knowledge can persuade everyone who looks the published sketches about the development phases of Postojnska jama and other caves. Just his geological stratigraphical view to the conditions in the underground opened the possibility to distribution of rich flowstone decorations into several generations of flowstone deposits not according the shape only, but in particular according the sequence and relation to other sediments. The importance of such studies showed its value in particular by statement of absolute age of flowstone and other phenomena.

In published diagrams is evident his effort to arrange and compare very different and by sight not connected forms and phenomena. Just when new recognitions about general lawfulness of quaternary karst development were on horizon, his work stopped. It will remain unfinished, as torso to which the artist's hand did not succeed to give the final touch. His personal assiduity and his characteristic scientific approach cannot be replaced. By his work he has shown the way which is to be followed if we want a path further into understanding of karst and its underground.

Editor

RADO GOSPODARIČ UND DIE ARBEITSGEMEINSCHAFT TRACERHYDROLOGIE (ATH)

Die ATH ist eine internationale Vereinigung von Wissenschaftlern, die sich mit der Anwendung von Tracermethoden jeder Art in der Hydrologie befassen. Ihre erste Aktivität geht auf das Jahr 1966 zurück, als 17 Wissenschaftler aus vier Ländern, angeregt von J.G.Zötl und V.Maurin, kombinierte Markierungsversuche im Steirischen Karst durchführten, denen in Graz ein Symposium "Underground Water Tracing" (SUWT) folgte. Rado Gospodarič stieß 1970 zu dieser Gruppe, als diese nach einer mehrjährigen Feldstudie im Bereich der Donauversickerung (Schwäbische Alb) in Freiburg das 2. SUWT veranstaltete. Er hielt dort ein Referat über "Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer im Karst der Nordwest-Dinariden" (Geol. Jb. C2 (1972) 213–226), das viel Beachtung fand. Am Ende des Symposiums wurde die ATH von ihren slowenischen Kollegen eingeladen, die Karstwässer im Einzugsgebiet der Ljubljana zu untersuchen und das 3. SUWT in ihrem Land abzuhalten. Damit wurde R.Gospodarič ein aktives Mitglied der ATH und trug in den darauffolgenden Jahren durch sein hervorragendes Organisationstalent, seine unermüdliche Tatkraft, sein hochqualifiziertes Fachwissen und durch originelle Ideen wesentlich zum Erfolg des von Staatsminister B.Mikoš maßgeblich unterstützten Projektes bei. Zusammen mit P. Habič und J.G.Zötl besorgte er die Herausgabe der Veröffentlichung der Ergebnisse dieser methodisch und regional weitausgreifenden Untersuchung in einer englischen und deutschsprachigen Ausgabe (Underground Water Tracing – Investigations in Slovenia 1972–1975, Ljubljana 1976; Markierung unterirdischer Wässer – Untersuchungen in Slowenien, Steir. Beitr. Hydrogeol. 28 (1976) 7–257). Er selbst steuerte hierzu zwei Originalbeiträge bei. J.G.Zötl erinnert sich gerne an diese "stets freundschaftliche, um die Beseitigung aller Schwierigkeiten bemühte, von persönlichem Einsatz getragene erfolgreiche Zusammenarbeit" (pers. Mit.). Selbstverständlich war R.Gospodarič auch Mitorganisator des auf die Feldstudien folgenden Symposiums in Bled, bei dem alle Teilnehmer aufs angenehmste die slowenische Gastfreundschaft genießen durften. Die Proceedings erscheinen wenig später, sorgfältig redigiert von R.Gospodarič und P.Habič (Institute of Karst Research 396 S., Ljubljana 1977).

Die Verbindung mit der ATH hat R.Gospodarič dann nicht mehr abreißen lassen. Er war in diesem Zusammenschluß von Wissenschaftlern, dessen Aktivitäten lebendig gehalten werden, ein Freund unter Freunden, die ihn nicht nur wegen seines hohen wissenschaftlichen Anspruchs und seiner ausgezeichneten Fachkompetenz, sondern auch wegen seiner optimistischen Lebensart und seiner frohen Geselligkeit schätzen gelernt hatten.

Zum 4. SUWT, das im Anschluß an kombinierte Markierungsversuche in der Schweiz in Bern stattfand, trug R. Gospodarič durch einen in der Folge der slowenischen Untersuch-

ungen entstandenen und mit P.Habič verfaßten Beitrag bei (P.Habič und R.Gospodarič: Tracerhydrologische Untersuchungen im Karst von Slowenien; In: Tracermethoden in der Hydrologie 1982, Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 28, Bern 1982, S. 169–175).

Die ATH verlegte dann in den Jahren 1983–1985 ihr Arbeitsgebiet in den nordöstlichen Peloponnes, wobei R. Gospodarič und P.Habič eine Teilgebietsuntersuchung übernahmen, deren Ergebnisse wesentlich zur Aufklärung des komplizierten, in den Golf von Argos entwässernden Karstwassersystems beitrugen und im Abschlussband der Gesamtstudie veröffentlicht sind (R.Gospodarič und P.Habič: Poljes of Hotoussa, Levidi and northern Tripolis, Steir. Beitr. Hydrogeol. 37/38 (1986) 169–185). Beim 5. SUWT in Athen gehörte R.Gospodarič dem Scientific Committee an und beiteiligte sich mit zwei Originalbeiträgen am wissenschaftlichen Program (R. Gospodarič: Cave Sediments as Trace Indicators in the Hydrogeology. Proc. 5th SUWT, Athens 1986, S. 51–56; P. Ramspacher, H.Zojer, U.Herzog, R.Gospodarič, I.Struc, W. Stichler: Karsthydrologische Untersuchungen des Petzenmassivs unter Verwendung natürlicher und künstlicher Tracer, Proc. 5th SUWT, Athens 1986, S. 377–388).

Bei der darauffolgenden Planungsphase der ATH für die nächsten Jahre kam R.Gospodarič noch zur ersten Sitzung im Frühjahr 1987 nach Graz und war wie immer mit konstruktiven Diskussionsbeiträgen bei der Sache. Im Herbst 1987 musste er sich krankheitshalber entschuldigen. Erschüttert von der Nachricht seines Todes am 12.2.1989 gedachten die ATH-Mitglieder bei ihrer Sitzung in Bled am 15.4.1988 ihres verdienten und hochgeachteten Kollegen. Sie werden sei Andenken in Freundschaft bewahren.

H.Moser

RADO GOSPODARIČ IN DELOVNA SKUPINA ZA SLEDILNO HIDROLOGIJO (ATH)

ATH je mednarodno združenje znanstvenikov, ki se ukvarjajo z uporabo vseh vrst sledilnih metod v hidrologiji. Začetki tega združenja segajo v leto 1966, ko je skupina 17 znanstvenikov iz štirih dežel pod vodstvom J.G.Zötlja in V. Maurina izvedla kombiniran sledilni poskus na Štajerskem krasu, ki mu je sledil simpozij o sledenju podzemeljskih voda (1.SUWT) v Gradcu. Rado Gospodarič se je priključil temu združenju leta 1970, ko je bil po večletni predhodni študiji na območju Švabske Albe v Freiburgu 2.SUWT. Tam je imel referat "Hidrološki problemi in ugotovljene podzemeljske vodne zveze v krasu severozahodnih Dinaridov. (Geol. Jb. C2 (1972) 213–226), ki je vzbudil veliko pozornosti. Ob koncu simpozija so njegovi slovenski kolegi povabili ATH, da bi raziskali izvirno področje Ljubljane in organizirali 3.SUWT v Sloveniji. S tem je postal R.Gospodarič aktivni član ATH. Nato so sledila leta, ko je s svojim odličnim organizacijskim talentom, s svojo neutrudljivo dejavnostjo, s svojim visoko strokovnim znanjem in z originalnimi idejami znatno prispeval k uspehu projekta, ki ga je odločilno podprl republiški minister B.Mikoš. Skupaj s P.Habičem in J.G. Zötlom je poskrbel za objavo rezultatov te metodološko in regionalno obsežne raziskave v angleški in nemški izdaji (Underground Water Tracing – Investigations in Slovenia 1972–1975, Ljubljana 1976; Markierung unterirdischer Wässer – Untersuchungen in Slowenien, Steirische Beitr. Hydrogeol. 28 (1976) 7–257). Sam je prispeval dva originalna prispevka. J.G. Zötl se rad spominja "zares prijateljskega uspešnega skupnega dela, ki je nosilo pečat njegove osebnosti in pripravljenosti za reševanje vseh težav". Seveda je bil R.Gospodarič tudi soorganizator simpozija na Bledu, ki je sledil terenskim raziskavam, kjer so udeleženci uživali nadvse prijetno slovensko gostoljublje. Zbornik simpozija je izšel malo kasneje, ko sta ga skrbno uredila R.Gospodarič in P.Habič (Inštitut za raziskovanje krasa, 396 str., Ljubljana 1977).

R.Gospodarič pozneje z ATH ni več prekinil stikov. Bil je v krogu znanstvenikov, ki niso delali po statutih, ampak so jih vodili lastni motivi, bil je prijatelj med prijatelji, ki ga niso cenili le zaradi njegove visoke znanstvene zahtevnosti in odlične strokovnosti, ampak tudi zaradi njegovega življenjskega optimizma in njegove vesele družabnosti.

Na 4.SUWT, ki je bil v Bernu po zaključenem kombiniranem sledilnem poskusu v Švici, je R.Gospodarič podal prispevek, ki ga je pripravil s P.Habičem, in ki je zaobjel nadaljevanje raziskav v Sloveniji (P.Habič in R.Gospodarič : Tracerhydrologische Untersuchungen im Karst von Slowenien; v: Tracermethoden in der Hydrologie 1982, Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 28, Bern 1982, str. 169–175).

V letih 1983–1985 je ATH predstavila svoje delovno področje v severnovzhodni del Peleponeza, kjer sta R. Gospodarič in P. Habič prevzela del raziskovanega področja. Rezultati teh raziskav so znatno prispevali k razjasnitvi zapletenega kraškega sistema, ki se odteka v zaliv Argos in so bili objavljeni v zaključnem zvezku skupne študije (R.Gospodarič in P.Habič: Poljes of Hotousa, Levidi and Tripolis, Steir. Beitr. Hydrogeol. 37/38 (1986) 169–185). Na 5.SUWT v Atenah je bil R.Gospodarič član znanstvenega odbora in je v okviru znanstvenega

programa prispeval dva originalna prispevka (R.Gospodarič : Cave sediments as Trace Indicators in the Karst Hydrogeology. Proc. 5th SUWT, Athens 1986, str. 51–56; P. Ramspacher, H. Zojer, U. Herzog, R.Gospodarič, I. Strucl, W. Stichler: Karsthydrologische Untersuchungen des Petzenmassivs unter Verwendung natürlicher und künstlicher Tracer, Proc. 5th SUWT, Athens 1986, str. 377–388).

Sledilo je obdobje načrtovanja ATH za naslednja leta. R.Gospodarič se je v začetku leta 1987 še udeležil prvega sestanka v Gradcu in je bil kot vedno aktiven s konstruktivnimi predlogi. Člani ATH smo se pretreseni ob vesti o njegovi smrti 12.2.1988 spomnili svojega zaslužnega in spoštovanega kolega na seji na Bledu, 15.4.1988. Ohranili ga bomo v prijateljskem spominu.

H.Moser

BIBLIOGRAFIJA

prof.dr. Rado Gospodarič (1933 - 1988)

I. Razprave v *Acta carsologica*

- 1963: Skakavac, Hidrogeološka študija (La grotte Skakavac).— *Acta carsologica*, 3, 105–130, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.
- 1970: Orehovški kras in izvir Korentana (The karst of Orehek and the source of the Korentan).— *Acta carsologica*, 5, 97–108, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Habe, France; Habič, Peter.
- 1970: Speleološke raziskave Cerkniškega jamskega sistema (Speleological Investigations of the Cerknica Cave System).— *Acta carsologica*, 5, 111–169, Ljubljana.
- 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami (Fluvial sediments in Križna jama).— *Acta carsologica*, 6, 327–366, Ljubljana.
- 1974: Izvor apnenčevega proda v Planinski jami (The origin of the limestone gravel in the cave of Planina).— *Acta carsologica*, 6, 169–182, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Pavlovec, Rajko.
- 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju (The quaternary caves development between the Pivka basin and polje of Planina).— *Acta carsologica*, 7, 9–139, Ljubljana.
- 1979: Kraški pojavi Cerkniškega polja (Karst phenomena of Cerkniško polje).— *Acta carsologica*, 8, 11–162, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.
- 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije (Sinter Generations in Classical Karst of Slovenia).— *Acta carsologica*, 9, 91–110, Ljubljana.
- 1982: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja (Morphologic and geologic situation of caves at the Planina polje ponor Boundary).— *Acta carsologica*, 10, 157–171, Ljubljana.
- 1982: Stratigrafija jamskih sedimentov v Najdeni jami ob Planinskem polju (Stratigraphy of cave sediments in Najdena jama at Planina polje).— *Acta carsologica*, 10, 173–195, Ljubljana.
- 1983: ESR dating of Postojna Cave stalactite (Datiranje stalaktita iz Postojnske jame z ESR metodo).— *Acta carsologica*, 11, 117–130, Ljubljana. Avtorji: Ikeya, Motoji; Miki, Toshikatsu; Gospodarič, Rado.
- 1983: Hidrogeologija in kraški izviri v Rakovem Škocjanu pri Postojni (Hydrogeology and karst springs in Rakov Škocjan near Postojna).— *Acta carsologica*, 11, 19–40, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Kogovšek, Janja; Luzar, Marjan

- 1983: Movraška in Smokavska vala ter Jama pod Krogom (Movraška and Smokavska vala and Jama pod Krogom).— Acta carsologica, 11, 77–97, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Mihevc, Andrej; Šušteršič, France.
- 1984: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam (Cave sediments and Škocjanske jame speleogenesis).— Acta carsologica, 12, 27–48, Ljubljana.
- 1984: Kraške in hidrogeološke značilnosti Košanske doline ter njen prispevek k onesnaženosti Notranjske Reke. (Karst and hydrogeological properties of Košana Valley and its contribution to Notranjska Reka pollution).— Acta carsologica, 12, 67–89, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Kogovšek, Janja.
- 1984: O geologiji krasa med Postojno, Planino in Cerknico (About Geology of Karst among Postojna, Planina and Cerknica).— Acta carsologica, 12 (1983), 91–106, Ljubljana. Avtorja: Čar, Jože; Gospodarič, Rado.
- 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce (On the speleogenesis of Divaška jama and Trhlovca cave).— Acta carsologica, 13, 5–32, Ljubljana.
- 1986: O geološkem razvoju klasičnega Krasa (About the geological development of classical Karst).— Acta carsologica, 14–15, 19–29, Ljubljana.
- 1987: Akademik prof.dr. Srečko Brodar, 6.5.1893 – 4.5.1987 (!) X The Academician prof.dr. Srečko Brodar, 6.5. 1893 – 4.5. 1987 (!).— Acta carsologica, 16, brez pag., Ljubljana.
- 1987: Speleogeološki podatki Taborske jame in njene okolice (Speleological data about Taborska jama and its vicinity).— Acta carsologica, 16, 21–34, Ljubljana.
- 1988: Geološka zgradba in nekatere hidrološke značilnosti bruhalnika Lijaka (Geological Setting and some Hydrological Properties of Lijak Effluent).— Acta carsologica, 17, 15–32, Ljubljana. Avtorja: Čar, Jože; Gospodarič, Rado.
- 1989: Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke (The contribution to water economy bases of Pivka).— Acta carsologica, 18, 21–37, Ljubljana.
- 1989: U series dating studies of *Ursus spaeleus* deposits in Križna jama, Slovenia (Z U serijo določene starosti plasti z jamskim medvedom iz Križne jame, Slovenija).— Acta carsologica, 18, 39–52, Ljubljana. Avtorja: Ford, Derek; Gospodarič, Rado.

II. Članki v Naših jamah

- 1959: O pretrtem apnencu in podzemeljskih prostorih (About the crushed limestone and underground rooms).— Naše jame, 1, 47–53, Ljubljana.
- 1961: Belojača, kraška jama v Halozah (Belojača, eine Karsthöhle in den Haloze (Nordost-slowenien).— Naše jame, 2(1960), 39–42, Ljubljana.
- 1962: Nekaj misli o zadnjem ugrezu v Tomaju (Quelques remarques sur le récent affaissement à Tomaj).— Naše jame, 3(1961), 18–21, Ljubljana.
- 1963: K poznavanju Postojnske jame – Pisani rov (Exploring the Postojna Cave – the Gay coloured Tunnel).— Naše jame, 4(1962), 9–16, Ljubljana.
- 1963: Snežniško brezno. Poročilo kluba "Luka Čeč" (Der Snežnikschacht).— Naše jame, 4(1962), 16–20, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.

- 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami (Traces of the tectonic movements in the glacial period in the Postojna cave).– Naše jame, 5(1963), 5–11, Ljubljana.
- 1965: Pripombe o nekaterih jamskih biserih iz jugoslovanskih jam (Remarks on several cave pearls of Yugoslav caves).– Naše jame, 6(1964), 30–34, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Wojcik, Zbigniew.
- 1965: Zelške jame začetek jamskega turizma v cerkniški občini. Poročilo Jamarskega kluba na Rakeku in Jamarskega kluba "Luka Čeč" v Postojni. – Naše jame, 6(1964), 50–53, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habe, France.
- 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline (The Črni potok and the Lekinka Cave within the system of the underground drain from the Pivka Basin).– Naše jame, 8, 12–32, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.
- 1968: Nekaj novih speleoloških raziskav v porečju Ljubljanice (Neue speleologische Forschungen im Flussgebiet der Ljubljanica).– Naše jame, 9(1967), 37–44, Ljubljana.
- 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami (Les stalactites et stalagmites renversées dans la Grotte de Postojna).– Naše jame, 9(1967), 15–31, Ljubljana.
- 1969: Raziskovanje Velike in Male Karlovice (Exploration de la Grande et de la Petite Karlovica).– Naše jame, 10(1968), 61–66, Ljubljana.
- 1969: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena (Les processus spéléologiques du pleistocène supérieur dans la Grotte de Postojna).– Naše jame, 10(1968), 37–46, Ljubljana.
- 1970: O limonitnih prodnikih na postojnskem krasu (About limonite pebbles in the Postojna karst).– Naše jame, 11(1969), 83–88, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Grobelšek, Erika.
- 1970: Stalaktit iz rudnika Mežica. – Naše jame, 11(1969), 89–91, Ljubljana. Avtorja: Grobelšek, Erika; Gospodarič, Rado.
- 1971: O nekaterih ponorih ob Cerkniškem jezeru (About some ponors of Cerknica lake).– Naše jame, 12(1970), 43–51, Ljubljana.
- 1972: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi 14C (Erstmals Mittels 14C errechnete Daten über das absolute Sinteralter in der Höhle von Postojna).– Naše jame, 13(1971), 91–98, Ljubljana.
- 1973: Viršnica – jamski sistem Šice ob Radenskem polju (Viršnica – Der Höhlensystem von Šica am Radensko polje).– Naše jame, 14(1972), 25–33, Ljubljana.
- 1974: Osnovna speleološka karta Slovenije. – Naše jame, 15(1973), 83–98, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Kranjc, Andrej; Gospodarič, Rado.
- 1975: Osnovna speleološka karta Slovenije. 1. nadaljevanje. – Naše jame, 17, 137–150, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Kenda, Ivan; Kranjc, Andrej.
- 1975: Osnovna speleološka karta Slovenije. 2. nadaljevanje. – Naše jame, 17, 151–171, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Kenda, Ivan; Kranjc, Andrej.

- 1977: Osnovna speleološka karta Slovenije, 3. nadaljevanje.— Naše jame, 18(1976), 55–62, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Habe, France; Kranjc, Andrej; Šušteršič, France.
- 1978: Osnovna speleološka karta Slovenije, 4.nadaljevanje.— Naše jame, 19(1977), 43–57, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Habe, France; Kenda, Ivan; Kranjc, Andrej; Šušteršič, France.
- 1980: Osnovna speleološka karta Slovenije, 5.nadaljevanje.— Naše jame, 21(1979), 19–29, Ljubljana. Avtorji: Habič, Peter; Gospodarič, Rado; Kranjc, Andrej; Šušteršič, France.
- 1981: Geokronološko preučevanje sige v Postojnskem jamskem sistemu (Geochronological studies of the Postojna Cave system speleothems).— Naše jame, 22(1980), 7–15, Ljubljana.

III. Kratke vesti, poročila in knjižna poročila v Naših jamah

- 1961: Pogled v speleološko dejavnost Avstralije.— Naše jame, 2(1960), 80–82, Ljubljana.
- 1962: III.Mednarodni speleološki kongres v Avstriji 1961.— Naše jame, 3(1961), 28–36, Ljubljana. Avtorji: Bohinec, Valter; Gospodarič, Rado; Bole, Jože.
- 1963: Tretji jugoslovanski kongres v Sarajevu.— Naše jame, 4(1962), 53–56, Ljubljana. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.
- 1964: Ekskurzija v Bolgarijo 1963.— Naše jame, 5(1963), 58–61, Ljubljana.
- 1964: Geologija, Razprave in poročila, 7.knjiga.— Naše jame, 5(1963), 73–74, Ljubljana.
- 1966: Občni zbor Društva za raziskovanje jam Slovenije 27. februarja 1966.— Naše jame, 8, 70–86, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Bohinec, Valter; Habič, Peter.
- 1966: Problems of the Speleological Research.— Naše jame, 8, 99–101, Ljubljana.
- 1968: Moore W.G.— G.Nicholas. The Study of Caves.— Naše jame, 9(1967), 89–90, Ljubljana. Avtorja: Bole, Jože; Gospodarič, Rado.
- 1968: Prvo zborovanje slovenskih jamarjev in raziskovalcev krasa (v Ljubljani 22.aprila 1967).— Naše jame, 9(1967), 77–83, Ljubljana.
- 1969: Občni zbor Društva za raziskovanje jam Slovenije dne 19. maja 1968 v Jamski restavraciji v Postojni.— Naše jame, 10(1968), 103–117, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Habe, France; Novak, Dušan; Sket, Boris.
- 1971: Krš Jugoslavije.— Naše jame, 12(1970), 103–104, Ljubljana
- 1971: Občni zbor Društva za raziskovanje jam Slovenije v Ljubljani, 30.maja 1970.— Naše jame, 12(1970), 85–91, Ljubljana Avtorja: Habe, France; Gospodarič, Rado.
- 1971: Preplavani sifon v Dimnicah.— Naše jame, 12(1970), 96–97, Ljubljana.
- 1972: Druga mednarodna konferenca o sledenju podzemeljske vode v Freiburgu (BRD), 10.–14.10.1970.— Naše jame, 13(1971), 124–128, Ljubljana.
- 1972: Drugi mednarodni speleološki kolokvij v Atenah.— Naše jame, 13(1971), 128–130, Ljubljana.
- 1972: Sloane H.N. & R.H.Gurnee. Visiting American Caves.— Naše jame, 13(1971), 137, Ljubljana.

- 1975: Po krasu in jamah Severne Amerike in Puerto Rica.– Naše jame, 17, 188–199, Ljubljana.
- 1977: Seznam speleoloških revij...– Naše jame, 18(1976), 113–116, Ljubljana.
- 1978: Sedmi mednarodni speleološki kongres.– Naše jame, 19(1977), 98–106, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Habič, Peter; Hladnik, Janja; Kranjc, Andrej; Novak, Tone; Habe, France.
- 1979: M.Bleahu, V.Decu, St.Negrea, C.Plesa, I.Povara, I. Viehmann: Pesteri din Romania.– Naše jame, 20(1978), 107–108, Ljubljana.
- 1980: Salzburger Höhlenbuch.– Naše jame, 21(1979), 102–103, Ljubljana.

IV. Referati na jugoslovanskih in mednarodnih kongresih in zborovanjih

- 1963: Izkoriščenje(!) kraškega izvira pri Miljevini za vodno oskrbo.– 3.jugoslovanski speleološki kongres, 217–220, Sarajevo.
- 1968: Über einige klastische Sedimente im Slowenischen Karst.– 4. Congrès International de Spéléologie, 3, 139–146, Ljubljana
- 1970: Najdaljše in najgloblje jame v Sloveniji (po podatkih do 15.sept.1968).– 5.jugoslovanski speleološki kongres, 261–265, Skopje.
- 1970: O vzrokih podiranja kapnikov v jamah okoli Postojne.– 5. jugoslovanski speleološki kongres, 183–189, Skopje.
- 1972: Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unterirdischen Wässer in Karst der Nordwest–Dinariden.– Geol.Jb., C 2, 213–226, Hannover. Soavtor: P.Habič.
- 1973: Preučevanje razpok s pomočjo njihovih struktur.– 7. kongres geologov Jugoslavije, (1971), 485–502, Zagreb.
- 1976: Geology and Hydrogeology.– Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972–1975, 27–38, Ljubljana. Avtorji: Buser, Stane; Drobne, Franc; Gospodarič, Rado.
- 1976: Hydrogeologic Interpretation of Underground Water Connections.– Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972–1975, 213–216, Ljubljana. Avtorji: Gospodarič, Rado; Krivic, Primož; Verbovšek, Renato.
- 1977: The Collapse of Speleothems in the Postojna Cave System.– Proceedings of the 7th International Speleological Congress, 223–225, Sheffield.
- 1981: Cave Systems Speleogenesis at the Karst Poljes of Slovenia (NW Yugoslavia) /Abstract/.– Proceed.8.Intern.Congress of Spel., 2, 656–656, Americus (Georg.).
- 1981: Die Entwicklung der Karsthöhlen in der Umgebung von Postojna im jüngeren Pleistozän.– Int.spel.meeting 1971, 219–229, Athens.
- 1981: Karsthydrologische Untersuchungen mit natürlichen und künstlichen Tracern im Neuenburger Jura (Schweiz). Zusammenfassung der Resultate des kombinierten Markierungsversuch.– Steir.Biträge zur Hydrogeologie, 87–92, Graz. Avtorji: Gospodarič, Rado; Müller, Imre; Schotterer, Ulli; Siegenthaler, U.

- 1982: La geologia della grotta Dimnice (Matarsko podolje–Slovenia).– Atti 5. Conv. reg. spel. Friuli–VG, 243–249, Trieste. Avtorja: Malečkar, Franc; Gospodarič, Rado.
- 1982: Tracerhydrologische Untersuchungen im Karst von Slowenien (NW Jugoslawien).– Beitr. zur Geologie der Schweiz, Hydrologie, 28, 169–175, Bern. Avtorja: Habič, Peter; Gospodarič, Rado.
- 1984: Hidrogeologija kraškega območja Pece in Mežiškega rudnika v Severnih Karavankah.– Zbornik referata 8. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 1. knjiga – Hidrogeologija, 109–112, Budva. Avtorja: Gospodarič, Rado; Štrucl, Ivo.
- 1984: Starost jamskih sedimentov v jamah dinarskega krasa Slovenije.– 9. jugoslovanski speleološki kongres, 225–229, Zagreb.
- 1985: Age and Development of Collapse Dolines above the Cave Systems. The examples from Classical Karst of Slovenia (NW Yugoslavia).– Annales de la Société Géologique de Belgique, 108, 113–116, Liège.
- 1986: Evaluation and interpretation of the tracing data.– Steir. Beitr. zur Hydrogeologie, 37/38 (1985/86), 276–287, Graz. Avtorja: Gospodarič, Rado; Leibundgut, Christian.
- 1986: Poljes of Hotoussa, Levidi and Northern Tripolis.– Steir. Beitr. zur Hydrogeologie, 37/38 (1985/86), 169–185, Graz. Avtorja: Gospodarič, Rado; Habič, Peter.
- 1986: Cave Sediments as Trace Indicators in the Karst Hydrogeology.– Proceedings, 5th International Symposium on Underground Water Tracing, 51–56, Athens.
- 1986: Karsthydrogeologische Untersuchungen des Petzenmassivs unter Verwendung natürlicher und künstlicher Tracer.– Proceedings, 5th International Symposium on Underground Water Tracing, 377–388, Athens. Avtorji: P. Ramspacher, H. Zojer, U. Herzog, R. Gospodarič, I. Štrucl, W. Stichler.
- 1987: Geological setting.– Man's impact in Dinaric Karst, Guide–book, 9–12, Ljubljana.
- 1987: Geološke razmere Notranjske.– Notranjska, 14. zborovanje slovenskih geografov, 49–60, Postojna.
- 1987: The Rakov Škocjan karst valley.– Man's impact in Dinaric Karst, Guide–book, 80–91, Ljubljana. Avtorja: Habič, Peter; Gospodarič, Rado.
- 1988: Paleoclimatic Record of Cave Sediments from Postojna Karst.– Annales de la Société Géologique de Belgique, 111, 91–95, Liège.

V. Druge objave

- 1959: Brusni kamni z Maclja.– Proteus, 21, 6, 158–159.
- 1961: Kraška jama v Haložah.– Proteus, 24, 1, 15–16.
- 1963: Wieliczka – edinstvena solna jama na svetu.– Proteus, 25, 6, 131–134.
- 1965: De Nova Gorica à Sežana.– Guide de l'excursion à travers le Karst Classique, 10–13.
- 1965: Les Grottes de Škocjan.– Guide de l'excursion à travers le karst Dinarique, 30–34.
- 1965: Pivka in Črna jama.– Prospekt, 1–6, Postojna.
- 1965: Planinska jama.– Prospekt, 1–6, Postojna.

- 1966: Geološka svojstva nahajališč železovih rud v Julijskih Alpah.– *Železar, Tehnična priloga*, 8, 1, 7–25, Jesenice, Kranj. Soavtor: V.Pohar.
- 1967: Über die Entstehung und Alter der Paläogensichten im Pivka Becken bei Postojna.– *Anz.österr.Akad.Wissensch.*, 2, 33–57, Wien. Soavtorji: G.Kolosvary; R.Pavlovec; F.Proto-Decima.
- 1968: Raziskovanje Postojnske jame po 1.1818.– 150 let Postojnske jame 1818–1968, 41–58, Postojna.
- 1969: Prirodne akumulacije vode v jamah porečja Ljubljane.– *Krš Jugoslavije*, 6, 157–174, Zagreb.
- 1969: Probleme der Bruchtektonik der NW Dinariden.– *Geol.Rundschau*, 59, 1, 308–322, Stuttgart.
- 1971: O nekaterih jamah ob Cerkniškem jezeru.– *Mlad.razisk.tabori*, 49–64.
- 1973: Medvedji rov v Križni jami in tamkašnji ostanki jamskega medveda.– *Mlad.razisk.tabori*, 30–46. Soavtor: M.Brodar.
- 1974: Nekaj osnovnih podatkov o zaledju kraških izvirov Ljubljane.– *Poročila 3.mednarodnega simpozija o sledenju podzemeljskih voda*, 2, 3–21. Soavtor: P.Habič.
- 1975: Geološke zanimivosti doline Pivke.– *Ljudje in kraji ob Pivki*, 1, 17–23, Postojna.
- 1975: Kraška muzejska zbirka v Postojni.– *Vodnik KMZ*, 1, Postojna. Soavtorja: P.Habič; M.Urleb.
- 1976: Prvi idejni projekt kraškega muzeja.– *Vodnik KMZ*, 2, Postojna. Soavtorji: V.Nečemer; P.Habič; M.Urleb.
- 1976: Sledenje podzemeljskih voda – povzetek.– *Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972–1975*, 257–271.
- 1978: Življenje kapnikov.– *Vodnik KMZ*, 3, Postojna Soavtorji: P.Habič; M.Urleb; J.Čar.
- 1980: Soteska Huda luknja.– *Kulturni in naravni spomeniki Slovenije*, 102, 1–30. Soavtorji: F.Batič; M.Brodar; V.Kuštor.
- 1980: Škocjanske jame.– *Vodnik ekskurzij 6.jug.simp.HIG*, 5–8, Portorož.
- 1981: Fosilne poplave na krasu.– *Naš krš*, 10–11, 87–93, Sarajevo.
- 1981: Kras in kraške jame Cerkniške doline in okolice.– *Notranjski listi*, 2, 174–178, Cerknica.
- 1981: Schieferung als verbreitete tektonische Deformation und anderen Tektogebieten der SFR Jugoslawien.– *Veröff.des Zentralinstitut für Physik der Erde DAW*, 72, 89–99, Potsdam. Soavtor: P.Bankwitz.
- 1982: Karstwasserprobleme in Slowenien.– *Gas–Wasser–Wärme*, 36, 5, 172–174, Graz.
- 1983: Hidrogeološke raziskave Pece.– *Koroški fužinar*, 33, 3, 24–25, Ravne na Koroškem. Soavtor: I.Štručl.
- 1983: Hydrogeologic Features on some Karst Parts of Slovenia.– *Hydrogeology of Dinaric Karst*, Geozavod, 185–197, Beograd.
- 1983: O geologiji in speleogenezi Škocjanskih jam.– *Geološki zbornik FNT*, 4, 163–172.
- 1983: O kraških pojavih Boča.– *Zbornik občine Slovenska Bistrica*, 1, 501–506, Slovenska Bistrica.

- 1984: O starosti sige v Škocjanskih jamah.– Medn.simp."Zaščita krasa ob 160–letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, 20–21, Sežana.
- 1984: Poročilo o študijskem bivanju v Franciji, 1.9.–7.9.1984.– Raziskovalec, 14, 12, 461–461. Soavtor: J.Kogovšek.
- 1985: Geološke razmere v Postojni.– Ljudje in kraji ob Pivki, 2, 145–153, Postojna.
- 1987: Mednarodni kolokvij o kraških sedimentih, 18.–22.maj 1987, Han sur Lesse, Belgija.– Obvestila Slovenskega geološkega društva, 16, 14–15.
- 1989: Hydrogeologische Untersuchungen im Petzengebiet.– Carinthia, v tisku. Soavtorji: Habič,P.; Ramspacher, P.; Štručl,I.; Zojer,H.

VI.Uredništva

Ljudje in kraji ob Pivki, 1. in 2 del.– Postojna, 1975, 1985,

Reports 3rd International Symposium on Underground Water Tracing; 1/1973 (Uredniki Gospodarič, R., Kokol, J., Lewicki, F., Stele, A.); 2/1973 (Uredniki Gospodarič, R., Lewicki, F., Ostanek, L.); 4/1975 (Uredniki Gospodarič, R., Habič, P., Kranjc, M., Benčič, K.)

Papers 3rd International Symposium on Underground Water Tracing ; 1–213, Ljubljana 1976; 215–396, Ljubljana 1977(Gospodarič, R., Habič, P., Kranjc, A.)

Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972–1975.– Postojna, 1976, 309 str. (Urednika Rado Gospodarič, Peter Habič)

Acta carsologica, 12, 1983 – 14/15, 1985/86 (Urednika Rado Gospodarič, Peter Habič)

Jugoslovanski simpozij o hidrogeologiji in inženirski geologiji, 6, 1980, Portorož.– Postojna, 1980, 27 str.

Naše jame. 1966–1975 (Urednik)

Zbrala in uredila Maja Kranjc

PRISPEVEK K
VODNOGOSPODARSKIM OSNOVAM
PIVKE

THE CONTRIBUTION TO WATER ECONOMY BASES
OF PIVKA

RADO GOSPODARIČ

Izvleček

UDC 556.33(497.12 Pivka)

Gospodarič, Rado: Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke

S podrobnim kartiranjem so dopolnjeni podatki o geološki zgradbi in hidrogeoloških značilnostih zahodnega dela Pivške kotline. Ugotovljena sta dva ločena kraška vodonosnika Slavenški ravniki in Orehovški kras z različno zakraselostjo. V strugi Pivke in njenih pritokov je v območju Orehovškega krasa več požiralnikov z neznanimi zvezami. Predstavljene so fizikalno kemijske lastnosti Pivke, ki je po onesnaženosti občasno uvrščena v 4. razred. Predvidene so raziskave in sledilni poskusi za rešitev odprtih vprašanj v zvezi z nujnimi vodnogospodarskimi ukrepi.

Ključne besede: geologija, hidrogeologija krasa, kvaliteta vode, Pivška kotlina, Slovenija

Abstract

UDC 556.33(497.12 Pivka)

Gospodarič, Rado: The Contribution to Water Economy Bases of Pivka

By detailed mapping the data on geological setting and hydrogeological properties of the western part of Pivka basin were completed. Two different karst aquifers were distinguished, Slavenški ravniki and karst of Orehek which are differently karstified. In the area of karst of Orehek there are in the Pivka and its tributaries riverbeds several swallow-holes without known connections. The physico-chemical properties of Pivka water are presented which is according to pollution classified into 4th class periodically. The investigations and water tracing tests are foreseen to solve the remained questions connected with urgent water economy measures.

Key words: geology, karst hydrogeology, water quality, Pivka basin, Slovenia

Objavljamo zadnji izvirni prispevek R. Gospodariča o geološki zgradbi in hidrogeoloških značilnostih kraške in flišne Pivke. Žal je to nedokončani del raziskovalnega programa, ki si ga je avtor zastavil z namenom, da bi svoje teoretsko in praktično znanje o Postojni in njeni okolici usmeril v reševanje praktičnih življenjskih problemov okolja, v katerem je živel in delal 30 let, od končanega visokošolskega študija, do prerane smrti (1959–1988).

Urednik

UVOD

V študiji "Vodnogospodarske osnove občine Postojna" smo želeli zbrati, obdelati in preučiti hidrološke posebnosti kraške Pivke, ki po eni strani omejujejo, po drugi strani pospešujejo gospodarske in druge dejavnosti. Zbrali smo podatke in rezultate, ki s hidrološkega gledišča koristijo družbenemu in gospodarskemu načrtovanju, smotrnemu urejanju prostora in rabi zemljiških površin v zvezi z vodo na kraškem ozemlju in na stičnem ozemlju z nekraškimi kamninami.

Raziskovanje je bilo razdeljeno v tri faze, v prvi je bilo težišče na terenskem delu v širšem območju Postojne, v drugi je zajelo okolico naselja Pivka, v tretji pa smo pregledali vodnogospodarske osnove celotne postojnske občine. O preučevanju je bilo izdelanih dvoje poročil (R. Gospodarič, P. Habič, 1984; 1985). Poglavitni rezultati obsegajo:

- kritični pregled vodnogospodarskih osnov občine v publikaciji Vodnogospodarske osnove Slovenije (1978). Izdelani so bili raziskovalni programi za področja, ki so v Osnovah pomanjkljivo prikazana, kot so naravne danosti občine (geološka zgradba, hidrogeološke lastnosti kamnin, hidrološki pojavi, površinski in pozemeljski vodotoki itd);

- geološke, hidrogeološke in hidrološke značilnosti širšega območja mesta Postojna, s posebnim orisom geološke meje med zakraselim apnencem in vododržnim flišem med V. Otokom in Rakitnikom ter vodnih virov in kemizma kraške in flišne vode;

- podatke o geološki zgradbi krasa ob Pivki med Rakitnikom in Radohovo vasjo na listih Pivka 13, 23, in 33 v merilu 1:5.000 ter na skupni karti merila 1: 25.000; novi podatki o stratigrafski starosti kamnin in o tektonski zgradbi so dopolnili obstoječe znanje, ugotovljeni problemi pa narekujejo nove raziskave, predvsem na zahodnem obrobju Pivške kotline;

- podane so hidrogeološke karakteristike bolj zakraselih zgornjekrednih in manj zakraselih paleocenskih apnencev ter vododržnih flišnih kamnin in kvartarnih naplavin;

- dopolnjeni so podatki hidrografske mreže na ravnih in naplavljenih predelih med Pivko in Prestrankom ter lokacije ponorov v strugi Pivke in njenih zahodnih pritokov s fliša;

- z mesečnim vzorčevanjem in analiziranjem Pivke in njenih pritokov je pokazana

mineralizacija in kakovost voda v odvisnosti od vodostaja v toku leta; nekatere nejasnosti v fizikalno–kemični sestavi so zahtevale nadaljnje preverjanje kemizma in kakovosti.

Izsledki in problemi so narekovali delno spremembo prvotno zamišljenega programa. Novi podatki o stratigrafskem položaju kamnin in o njihovi razširjenosti ter strukturi v ravnostnem delu Pivške kotline so narekovali iskanje podobnih struktur v zahodnem obrobju Pivške kotline, bliže razvodju Pivke in N. Reke ter zlasti v Orehovškem krasu, kjer je več ponikalnic in izvirov, med njimi Korentan kot pomembni nadomestni vodni vir za oskrbo Postojne. V ta namen smo geološko preučili zahodni del Pivške kotline, kamor se nadaljujejo strukture Snežniške grude in kjer se stikajo s strukturami Komenske grude. Spoznali smo hidrografske pojave in hidrogeološke značilnosti kamnin v zahodnem delu Pivške kotline, kjer ponikalnice napajajo Pivko in nekatere kraške izvire Orehovškega krasa, izginjajo pa tudi v Slavenški ravnini, ki se domnevno odceja v Notranjsko Reko. Nadaljevali smo z vzorčevanjem in analiziranjem reke Pivke in njenih pritokov med Radohovo vasio in Postojno, da bi dopolnili in ocenili podatke o njeni kakovosti v celem hidrološkem letu. Obdelali smo geološke enote in spoznali nihanje vodne gladine v krasu Zgornje Pivke, v Javornikih in v Postojnskem krasu.

Pri terenskem delu smo uporabljali topografske podlage v merilu 1:5.000 (listi Sežana 10 in 20 ter Pivka 1, 2, 11, 21, 22, 31 in 32). Razen lista Pivka 12 nobenega drugega lista nismo v celoti pregledali, ker študirane strukture diagonalno prečkajo ozemlje teh kart. Dobljene podatke smo prenesli na karto 1:25.000 v obsegu listov Pivka in Postojna ter delno Sežana, na katere se razteza ozemlje občine.

GEOLOŠKA ZGRADBA ZAHODNEGA DELA PIVŠKE KOTLINE

Osnovna geološka sestava obravnavanih predelov je prikazana na geoloških kartah Postojna in Ilirska Bistrica (1967, 1968). Na severu so karbonatni skladi Nanosa narinjeni na eocenski fliš Vipavske doline, v območju Slavskega ravnika med Sajevčami in Pivko ležijo kredni in paleocenski apnenci pod flišem Rakulka in Pivke, v južnem delu pa pod flišem Košanske doline. Med Hruševjem, Orehkom in Prestrankom se dviguje nad eocenski fliš greben Orehovškega krasa.

V tektonskem smislu (L. Placer, 1981) je Nanos kot del alohtona Hrušiškega pokrova narinjen na paravtohton Vipavske doline. Proti jugovzhodu se struktura Nanosa nadaljuje v avtohtoni Snežniški grudi, ki pokriva karbonatne kamnine paravtohtona Komenske narivne grude. Tektonsko mejo med alohtono Snežniško narivno grudo in paravtohtono Komensko narivno grudo med Pivko, Petelinjem in Selcami smo locirali že l. 1984, njen nadaljni potek proti severovzhodu do Hruševja pa preučevali l. 1985. V preučevanje smo vključili še del kraškega Slavskega ravnika in njegov fliš ter Orehovški kras.

Na podlagi novih podatkov in že objavljenih virov smo sestavili poenostavljeno karto z geološkimi in hidrografskimi podatki (priloga 1) ter več prečnih geoloških profilov (priloga 2), kjer je do 400 m nadmorske višine prikazana domnevna geološka zgradba osrednjega dela

Pivške kotline med Postojno, Pivko, Košano, Slavino, Sajevčami in Hruševjem. V profilih vidimo geološko sestavo dela Slavenskega ravnika, celotnega Orehovškega krasa, dela Postojnske kotline in dela Pivke tja do pobočij Javornikov in Postojnskega krasa. Geološka zgradba kaže zakrasele apnenice zgornje krede (K_2^{2-3}), zgornje krede in paleocena (K_2^4 , Pc) ter paleocena (PC), pa tudi nepropustnega fliša (E). Posebej so označene tektonske cone ob Orehovškem prelomu (1), Selškem prelomu (2) in Sajevškem Prelomu (5) ter narinjeni skladi ob Rakulškem narivu (3) in Graškem narivu (4).

Slavenski ravniki sestavljajo zgornjekredni in paleocenski apnenici, ki so nagubani v antiklinali NW–SE smeri. Os gube je nagnjena proti SE pod naplavine Košanske doline in proti NW pod fliš Razdrtega. Med Sajevčami in Pivko je severovzhodno krilo antiklinale pokrito z eocenskim flišem. Ta stik smo podrobeneje preučili, ker je tudi s hidrogeološkega vidika najbolj zanimiv.

Litološka meja med apnenici in flišnimi kamninami poteka od Sajevškega polja proti SE pod pobočje Leskovja in mimo kote 718 pod Ostri vrh, kjer prečka začetek grape Slavenskega potoka in se povzpne pod flišno Presko (694 m). Sledimo jo v Matonk in Podvršček (654 m), od tod pa pod Gradcem (586 m) ter mimo Ovčjaka (636 m) v Pivko, kjer jo južno od železniške postaje prekrije narinjeni apnenec Kerina (654 m).

Normalni in delno erozijski prehod paleocenskega apnenca v krovni eocenski fliš le tu in tam prekinjajo prelomi. Bolj izrazita prelomna cona se vleče iz Sajevškega polja pod Ivačevce (Sajevški prelom 5), od tod proti SE pa preide pod eocenski fliš, kjer je ni več videti. Litološko mejo spremljajo morfološki pojavi kontaktne grabe, kot so znižani grebeni, predeljene grabe, nizi vrtač in seveda kontaktno Sajevško kraško polje. Zanimive so tudi suhe doline okrog Ivačevcev, ker so pokrite s flišnim prodromom, kot dokazom o nekdanjem odvodnjavanju flišnih potokov na apnenice z odtokom v zakraselo podzemlje slavenskega ravnika.

Eocenski fliš sestavljajo glinovci in peščenjaki ritmičnega faciesa, katerega tanke plasti različno strmo vpadajo proti NE pod apnenice Orehovškega krasa, ki je nanje narinjen. Med Slavino in Pivko je ritmični fliš precej erodiran, tako da je razgaljena njegova naguba karbo-natna podlaga. Ob tej podlagi smo našli do 10 m debelo skladovalnico sivega in rdečkastega lapornega apnenca. V profilu nad Gradcem vsebuje ta laporni apnenec fosilni nanoplankton spodnjeeocenske starosti (glej poročilo J. Pavšiča. Arhiv IZRK)

Orehovski kras je s treh strani omejen s flišnimi kamninami, med Prestrankom in Slavino pa ga stara dolina Pivke deli od Javornikov. Na geološki karti lista Postojna (1967) je ta kras pokazan kot tektonska luska na flišu Rakulka, pri čemer pa ni jasna njegova omejitev niti na SW strani ob flišu pri Hruševju, niti na jugovzhodni strani ob prehodu k strukturam Pivške doline. R. Gospodarič (1970) je objavil geološko karto in prečne profile čez Orehovski kras in domneval, da gre za poševne, prelomljene in proti SW narinjene gube, odtrgane od dvignjene podlage.

Pretežni del Orehovškega krasa gradijo debeloskladnati, sparni apnenici z gomolji in drobnimi plastmi apnenca v zgornjem delu. Številni rudistni ostanki dokazujejo njihovo zgornjekredno starost. Te kamnine so razgaljene južno od Hruševja, severno in severozahodno od

Prestranškega gradu ter vzhodno in jugovzhodno od Orehovških ponikev. Vidimo jih še ob Slavini in v Kočah, kjer se povezujejo s podobnimi kamninami v dolini Pivke (R. Gospodarič, 1985).

Osrednji del Orehovškega krasa, območje Varde (726), sestavljajo ploščnati, bituminozni, drobnozrnati apnenci mastrichtijske in spodnje – eocenske starosti, tki. "vremške plasti", sodeč po vključkih premoga in po foraminiferni favni in algah. Ob novi gozdni cesti nad Orehovškimi ponikvami je lepo vidna drobna plast premoga v skladnatem apnencu, ki ga pokriva rudistni apnenec. V skladnatem apnencu zahodno od Orehka ter v apnencu pod pleistocenskimi naplavinami med Kočami in Prestrankom pa smo ugotovili foraminifere *Globorotalis cf. compressa* (Plummer), alge *Porochara* in *Laginophora* ter školjke in polže, ki dokazujejo spodnjepaleocenske kozinske sklade (paleontološke analize je opravil mag. F. Cimerman).

Vremške in kozinske plasti so litološko zelo podobne, pa jih obravnavamo kot stratigrafsko nerazčlenjene. Ponekod smo našli normalni prehod zgornjekrednih apnencev v paleocenske, drugod zopet obrnjeno zaporedje.

Na griču Stari grad, vzhodno od Saječv, prehajajo kozinski skladi navzgor v svetlosiv apnenec, ki je morebiti že srednje ali zgornje – paleocenski. V depresiji Sv. Barbare in južno od Orehka so med apnenčeve plasti tektonsko vkleščeni flišni laporji.

Obravnavani skladi apnencev vpadajo pretežno položno proti severozahodu, šele okrog Slavine obrnejo v NW–SE smer, v slemenitev kamnin Pivške doline in v smer dinarsko potekajočih dislokacij. Strukturni položaj Orehovškega krasa je glede na fliš Slavenskega ravnika in Postojnske kotline diskordanten, potrjen tudi z dislokacijami, ki ta kras omejujejo in prelamljajo.

Najbolj izrazita in tudi najstarejša je narivna dislokacija (Rakulski nariv 3) med eocenskim flišem in zgornjekrednim oziroma paleocenskim apnencem med Hruševjem, Slavino in Pivko. Narivnica je vidna v starem kamnolomu nad Hruševjem, nato pod apnenčevo steno kote 648 m, kjer povije proti jugozahodu v flišno depresijo Sv. Barbare. Od tod gre pod Starim gradom mimo Rakulka in Orehovških ponikev do grape Prestranske Sušice, nato pa pod Babo doseže Slavino. Od tod se nadaljuje v Selce, Petelinje in Pivko, kjer pri Radohovi vasi zavije pod Kerin (654 m). Med Slavino, Gradcem in Pivko pa je med spodnjeeocenskim flišem in zgornje paleocenskim apnencem Graški nariv (4).

Navedena nariva sta deformirana s prelomi NW–SE in NE–SW smeri. Dinarsko usmerjena cona Orehovškega preloma (1) razmejuje Orehovški kras od fliša Postojnske kotline, cona Selškega preloma (2) pa po sredini deli Orehovški kras na dve vzdolžni polovici. Obe coni se severozahodno od Hruševja nadaljujeta v fliš, proti jugovzhodu pa v Pivško dolino in naprej v pobočje Javornika in Snežnika. Ti dolgi premi coni z lečami tektonske breče, ki doslej nista bili znani, imata zmični karakter in po razsežnosti gotovo regionalni pomen v tektonski zgradbi Pivške kotline.

V nasprotju z vzdolžnima so prečni prelomi NE–SW smeri krajši, a zato bolj številni. Zgoščeni so posebej v območju Slavine, Selc in Pivke, kjer sečejo narivnico, delijo karbonatne sklade v posamezne bloke in dajejo strukturno zasnovo številnim grapam, ki se stekajo v Pivško kotlino (Prestranska Sušica, Slavenski potok, Selški potok in druge grape).

HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI

Po zahodnem delu Pivške kotline poteka del črnomoško-jadranskega razvodja. Razvodnica med porečjema Pivke in porečjem Notranjske Reke oziroma Vipave je površinska, kjer se vode raztekajo na neprepustnem flišu, in podzemeljska ali kraška, kjer slutimo, da se vode razdvajajo v zakraselem apnencu.

V pregledanem območju poteka razvodje med pritoki Nanoščice in Sajevščice po flišnem grebenu Učičnika (716 m) in Zakorenike (716 m), od koder se spusti v zahodni in severni rob Sajevškega polja ter preide grapo Sv. Barbare, že v predelu Orehovškega krasa. Od tod krene razvodnica proti jugu vzporedno z narivnico med apnencem in flišem do Črmeliške ograde, kjer vijugavo sledi flišnim sedlom Jančarije. Tu preide razvodnica na apnence Slavonskega ravnika, kjer po orografiji sklepamo, da gre čez Ostri vrh, čez koti 680 m in 747 m proti jugu na Osojnico (821 m), od koder doseže sedlo med Pivko in Hrastjem na višini 575 m.

Po flišu začrtana razvodnica (priloga 1) loči površinske pritoke Nanoščice od ponikalnice Sajevškega polja, po apnencu domnevana razvodnica pa Orehovške ponikve in ponikalnice Slavine od podzemeljskih tokov Slavenskega ravnika, ki se domnevno stekajo proti jugu v Košansko dolino ali celo proti zahodu k podzemeljskim pritokom Raše in Notranjske Reke. Doslej še ni konkretno ugotovljeno, kam pravzaprav odteka vse ponikalnice iz zahodnega dela Pivške kotline. S sledenjem l. 1967 so ugotovili le povezavo Orehovških ponikv z občasnim izvirom Pod Poličkom pod Prestranškim gradom, vse druge podzemeljske poti ponikalnic skozi kras do izvirov pa niso znane (R. Gospodarič, F. Habe, P. Habič, 1970)*

Slavenski ravnik ima v obravnavanem delu izrazito kraško površje in podzemlje, kjer poznamo doslej 65 različnih jam, ki so poprečno 25 m globoke in 76 m dolge (P. Habič, R. Gospodarič, I. Kenda, A. Kranjc, 1975). S severne strani se v kras tega ravnika stekajo Sajevščica in Rakuljščica ter potočki v Ivačevcih. Sestavljajo podzemeljski tok, ki je iz vodne jame Markov spodmol (n.v. 561 m) domnevno usmerjen proti jugu in se občasno kaže v bruhalniku Gabranci (n. v. 418 m) v Košanski dolini (P. Habič, R. Gospodarič, J. Kogovšek, 1984). Geološka zgradba pa ne izključuje odtoka teh kraških voda tudi proti zahodu pod kras Vremščice in dalje k podzemeljski Notranjski Reki v Divaškem krasu. Tja so namreč tudi nagnjene domnevne hidroizohipse podzemeljske vode (P. Habič, 1985).

Flišni pas Rakulka, Slavine in Pivke med Slavenskim ravnikom in Orehovskim krasom oziroma dolino Pivke ima vlogo hidrogeološke bariere. Pas teh neprepustnih kamenin je najširši in najdebelejši med Sajevčami in Slavino, pri Slavini in južno od tod do Pivke pa je ožji in tanjši ter erodiran, kar dokazuje njegova dvignjena apnenčeva podlaga. V Pivki je fliš razgaljen v obliki tektonskega polokna, vendar se pri železniški postaji in v Hrastju izklini, ker ga pokrivajo apnenci Kerina in Tabora, ki so že sestavni del Snežniške narivne grude.

Orehovski kras je obdan z neprepustnim flišem, le na jugovzhodni strani se njegovi zakraseli apnenci spuščajo pod kvartarno naplavino. Ker je ta kras tektonsko v drugotni legi,

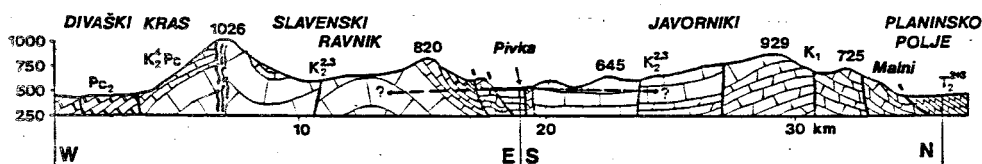
* Glej prispevek P. Habiča v tem Zborniku

lahko v njegovi podlagi domnevamo zgoraj omenjeni neprepustni fliš in paleocenske apnenice. V Orehovškem krasu poznamo 68 različnih jam, ki so poprečno 10 m globoke in 46 m dolge. Med njimi ni nobene vodne jame, kjer bi dosegli podzemeljske tokove Orehovških ponikev in Prestranske Sušice. Vodonosnik je pod 550 m nadmorske višine manj zakrasel in prepusten, tektonsko deformirana podlaga verjetno preprečuje, da bi se Orehovške ponikve in Sušica trajno stekale proti severu v Korentan, ki je na 520 m nadmorske višine. Lahko pa ga občasno napajajo tukajšnje visoke vode, ki se morebiti prelivajo čez lokalne bariere pod površjem. Pred leti študirane problematike kraškega izvira Korentan (R. Gospodarič, F. Habe, P. Habič, 1970), ko je bila ugotovljena njegova minimalna (10 l/s) in maksimalna (3.000 l/s) izdatnost, ni dala zadovoljivih odgovorov o obsegu njegovega hidrografskega zaledja.

Hidrogeološke značilnosti v dolini Pivke med Prestrankom in Radohovo vasjo smo opisali že v poročilu l. 1984 (R. Gospodarič, 1985). Na geološki karti (priloga 1) in v prečnih profilih (priloga 2) so razvidni razporeditev kraških vodonosnikov, obseg kvartarnih naplavin in poplavnih ravnin ob Pivki ter požiralniki, kjer občasno Pivka izginja, in izviri, ki se v to reko občasno stekajo.

Najbolj zanimiv se kaže požiralnik v regulirani strugi med Pivko in Trnjem v lokaciji Loke na višini 532 m. Vanj izginja med letom del potoka, skupaj z odpadno vodo iz naseljene, industrijske Pivke. Poleti, ko potok presuši, pa sprejema požiralnik samo odpadno vodo v količini okrog 100 l/s. Kam voda odteka, ni znano.

Požiralnik je situiran ob porušni coni Selškega preloma (2). Ob prelomu se stikajo zakraseli, vendar manj prepustni skladnati mastrihtijski apnenici (K_2^4) in zelo zakraseli, bolj prepustni neskladnati senonijski apnenici (K_2^3), slednji gradijo kras proti Trnju in Slovenski vasi (Slika 1). Po geološki zgradbi je najbolj verjetno, da voda odteka podzemeljsko proti severu v



Sl. 1 Hidrogeološki profil Divaški kras-Pivka-Planinsko polje

Fig. 1 Hydrogeological Profile Divaški kras - Pivka - Planinsko polje

E - laporji in peščenjaki, fliš, vodoneprepustno
 Pc_2 - foraminiferni apnenici, zakraselo
 K_2^4 , Pc - "vremski" in kozinski apnenici, zakraselo
 $K_2^{2,3}$ - rudistni apnenici, zelo zakraselo
 $T_2^{2,3}$ - dolomit, vodoneprepustno
 I - Požiralnik Pivke v Lokah
 ? - domnevni odtok ponorne vode

E - marls and sandstones, flysch, impermeable
 Pc_2 - limestone with foraminifera, karstified
 K_2^4 , Pc - "Vreme and Kozina" limestones, karstified
 $K_2^{2,3}$ - limestone with rudists, very karstified
 $T_2^{2,3}$ - dolomite, impermeable
 I - Pivka swallow-hole in Loke
 ? - supposed runoff of ponor waters

Podatki po geoloških kartah Postojna in Gorica
 1. 100.000 ter kartiranj 1984-85 R. Gospodarič

The data according to Geological map Postojna
 and Gorica, scale 1:100.000 and according to
 field mapping 1984-85 by R. Gospodarič

horizontu pod 530 m. Ni pa izključena tudi možnost, da voda sledi prelomni coni proti severozahodu, vse tja do izpod skupine vnovičnih požiralnikov Pivke, južno od Prestranka, kjer izginja tudi Slavenski potok. Še najmanj verjeten se z geološkega vidika kaže odtok proti zahodu v niže ležečo Košansko dolino, saj neprepustne flišne plasti v Pivki onemogočajo to komunikacijo. Že večkrat pa se je pokazalo, da ponorne vode ubirajo svoja pota, primerna geološki zgradbi pod površjem, ki je natančno ne poznamo. Zato bi mogli le z ustreznim sledenjem ponorne vode prav ugotoviti, kam odtekajo. Problem je toliko bolj pereč, ker je najbolj verjetno odtok odpadne vode usmerjen proti Malnom.

FIZIKALNO KEMIJSKE LASTNOSTI PIVKE

Nekaj novih spoznanj o vodi Pivke in njenih pritokih smo ugotovili z nadaljnjim opazovanjem njenih fizikalno-kemičnih lastnosti. Šestmesečno serijsko opazovanje iz l. 1984 smo namreč raztegnili še v prvo polovico l. 1985, analitične podatke smo primerjali z vodostaji pred ponorom Pivke v Postojnsko jamo (Podatki Hidrološke službe SRS) in ugotovili medsebojno odvisnost.

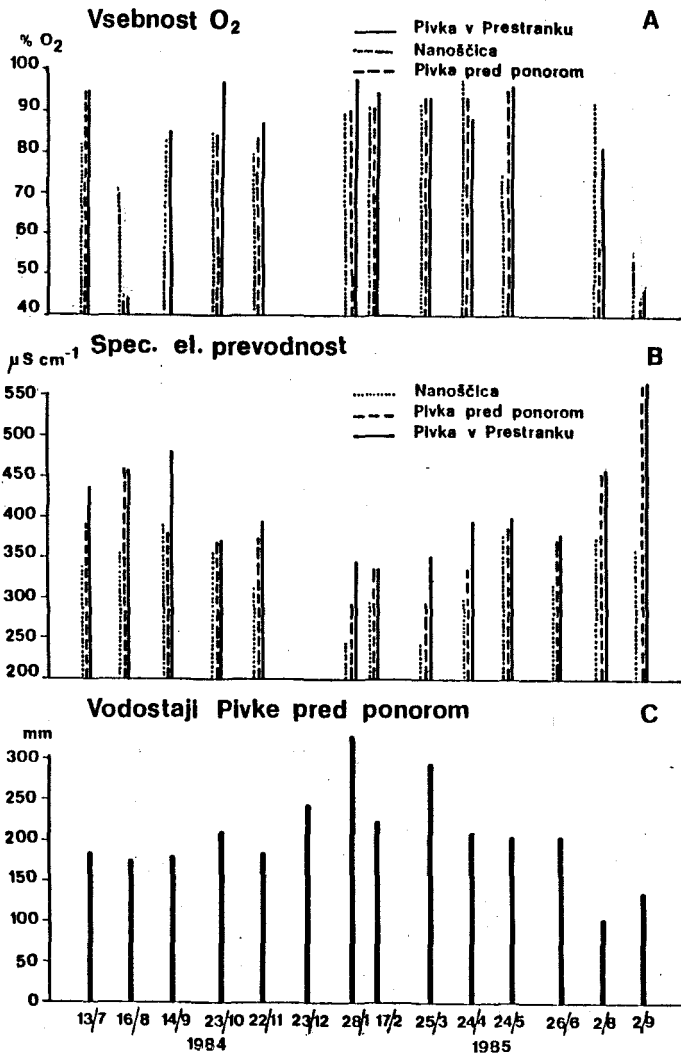
Mesečne serije analiz januar–september 1985 (Tabela 1) so pokazale, da se je mineralizacija zimskih in pomladnih voda vzdolž toka od Radohove vasi do Postojne zniževala kljub različno izdatnim in mineraliziranim kraškim in površinskim dotokom. Podobno je možno reči za vsebnost kisika v vodi. Nečista voda iz Zagorja, Pivke in Petelinj ter Postojne je bila razredčena s precejšnjimi količinami kraške vode iz Trnskih in Žejskih izvirov ter iz površinskega Slavenskega potoka in Nanoščice. V poletnih mesecih, ko so kraški izviri presahnili in površinski dotoki dovajali manj vode, pa je imela Pivka slabšo in bolj mineralizirano vodo kot poprej.

Kakovostna in količinska odvisnost Pivke od vodostajev je pokazana na sliki 2. V vzorčevalni dobi junij 1984 – september 1985 so višjim vodostajem pozimi ustrezale nižje vrednosti električne prevodnosti (= mineralizacija) Nanoščice ter Pivke pred ponorom v Postojnsko jamo in pred Prestrankom. Tudi vsebnost kisika je bila tedaj večja. V poletnih vodah pa smo zabeležili obratno razmerje, pri nižjih vodostajih višjo električno prevodnost, nižjo vsebnost kisika.

Zaključimo lahko, da na kvaliteto vode v strugi Pivke pozitivno delujejo kraški pritoki izpod Javornikov ter delno Nanoščica, negativno pa pritoki iz naselij, vključno s površinskimi pritoki, ki teko skozi ta naselja. Ker kraški pritoki, žal, niso stalni, na njihovo izdatnost pa ne moremo vplivati, bo treba prizadevanje za kvalitetnejšo Pivko usmeriti vboljšanje vode v njenih pritokih iz naselij (slika 3).

RAZISKOVALNI REZULTATI

V l. 1985 smo opravili raziskave v napovedanem obsegu. Največ dela smo posvetili geološkemu in hidrogeološkemu preučevanju, z doseženimi rezultati pa obogatili dosedanje znanje o zahodnem obrobju Pivške kotline.

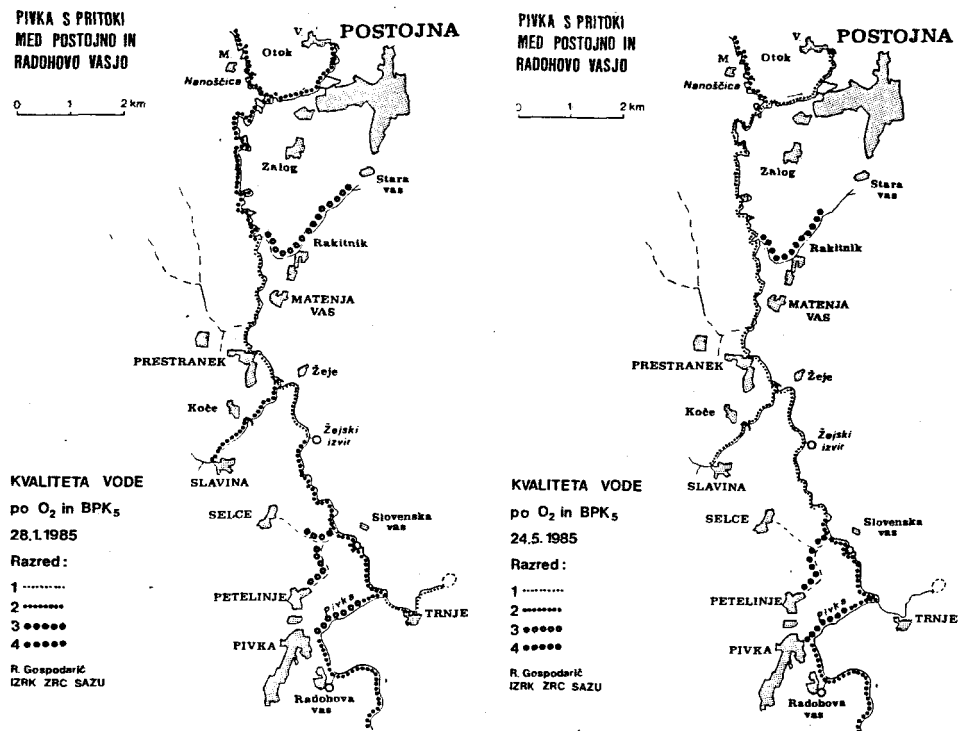


GR 4886

Sl. 2 Primerjava vsebnosti kisika (A), specifične električne prevodnosti (B) in vodostajev Pivke in Nanoščice (C) 1984-1985

Fig. 2 Comparison among oxygen content (A), specific electric conductivity (B) and Pivka and Nanoščica water levels (C), 1984-1985

S podrobnim geološkim kartiranjem smo omejili vzhodni rob Slavenskega ravnika med Sajeveškim poljem in Pivko, spoznali obseg neprepustnega eocenskega fliša med tem ravnikom in Orehovškim krasom. Preverili in natančneje smo locirali narivnico Orehovškega krasa in odkrili več prelomnih con regionalnega in lokalnega pomena. Strukture smo povezali s podobnimi strukturami iz območja reke Pivke in dobili podrobnejši pogled v geološko zgradbo srednjega dela Pivške doline. Terenske podatke smo vnašali na topografske liste 1:5.000, delno poenostavljene pa združili na specialki 1:25.000 (priloga 1), iz njih pa rekonstruirali tudi več prečnih geoloških profilov (priloga 2) med površjem in 400 m nadmorske višine. Na podlagi teh geoloških osnov smo šele sklepali na hidrogeološke značilnosti.



Sl. 3 Pivka s pritoki med Postojno in Radohovo vasjo. Kvaliteta vode 28.1. 1985 in 24.5. 1985 po vsebnosti kisika in BPK₅ so opredeljeni razredi 1-4.

Fig. 3 Pivka and its tributaries between Postojna and Radohova vas. The water quality on 28 January, 1985 and 24 May, 1985 according to oxygen content and BOD₅ is defined by classes from 1 to 4.

V Orehovškem krasu smo raziskali zgornjekredne in spodnjepaleocenske apnenčeve sklade v normalni in obrnjeni legi. Gre za nagnjeni, relativno dvignjeni blok karbonatne platforme, ki je v Postojnski kotlini sicer še pokrita s spodnjeeocenskim flišem, južno od Prestran-

ka pa prav tako tektonsko dvignjena in ob prelomih dislocirana; tu je krovni fliš že erodiran, razkriti so paleocenski in zgornjekredni apnenčevi skladi alohtona Snežnika. Med Slavino in Pivko se hidrogeološko in geomorfološko uveljavljajo neprepustne flišne plasti in apnenci Slavenskega ravnika (dela paravtohtone Komenske grude), ki so v splošnem bolj nagnjeni pod Pivško dolino. Kako daleč proti zahodu segajo in kako globoko pod površjem doline se nahajajo te plasti, bi lahko dognali le z ustreznimi vrtnami. S tem postopkom bi lahko pojasnili regionalno geološko zgradbo in z njo povezana vprašanja o globini podzemeljskega raztekanja kraške vode iz doline Pivke.

Podrobnejša geološka preučitev je pokazala dva ločena kraška vodonosnika z različno zakrasedlostjo in hidrološkimi karakteristikami. To sta Slavenski ravnik in Orehovški kras. Skozi Slavenski ravnik odteka padavine in ponikalnice iz fliša s strmcm $17^\circ/\infty$, domnevno proti jugovzhodu, kamor je nagnjena antiklinala najbolj zakrasedlih zgornjekrednih apnencev. Skozi Orehovški kras usmerjene ponikalnice napajajo izvire Nanoščice in Pivke. V primeru Orehovških ponikev in izvira Pod Poličkom je bila že predčasno ugotovljena hitrost podzemeljskega toka $6,2 \text{ cm/s}$ približno 100 m pod površjem, na podlagi opazovanj izvira Korentana (R. Gospodarič, F. Habe, P. Habič, 1970) pa je izračunan tudi minimalni specifični odtok Orehovškega krasa ($2,1 \text{ l/s/km}^2$). Ti podatki pa se približujejo stvarnim, saj ne poznamo vseh podzemeljskih zvez med ponori in izviri, niti ne vemo, kam odteka številne ponikalnice z zahodnega obrobja Pivške kotline. Podobno vprašanje lahko postavimo tudi za vodotok Pivke, ki delno ponika pod Pivko in pred Prestrankom, ne da bi vedeli, kje se zopet pojavlja.*

Na podlagi obstoječih in novih hidroloških in speleoloških podatkov smo sestavili hidroizohipse gladine kraške vode v kraškem podzemlju ozemlja občine in celotnega Notranjskega krasa (P. Habič, 1985). Pregledna karta kaže, da se gladina iz Pivške kotline znižuje bolj položno proti Malnom in bolj strmo proti Notranjski Reki. V območju Javornikov gladina močno niha v odvisnosti od padavin tako, da je ob visokih vodah nagnjena tudi proti Pivški kotlini. To ustvarja zapletene hidrološke razmere, ker se mešajo kraške in površinske vode, ali relativno čiste vode z odpadnimi v različnih horizontih. Razumljiva je težnja, da bi hidrološki režim Javornikov in njegovega obrobja, vključno z Malni, čimbolje spoznali. Ker zaenkrat nimamo na voljo niti primernih opazovalnih piezometrov, niti kvalitetnih niti kvantitetnih podatkov o smereh, višini in hitrosti pretakanja in zadrževanja kraške in alohtone vode v podzemlju, je trenutno znanje o hidrogeologiji še precej pomanjkljivo.

V l. 1985 opravljene raziskave in doseženi rezultati dopolnjujejo spoznanja iz prejšnjih dveh let o prirodnih danostih ozemlja občine, zlasti z geološkega, hidrogeološkega in hidrološkega stališča. Faktološki podatki so vsebinsko obdelani in delno kartografsko predstavljeni ter primerjani z dosedanjim znanjem. Gradivo posreduje nekaj podatkov za sestavo hidrogeološke karte občine in za vodnogospodarske osnove. Ti podatki pa vendarle ne zadoščajo, da bi karto in osnove sestavili tako, kot smo prvotno nameravali. Med delom se je namreč pokazalo, da imamo preveč splošnih, a premalo podrobnih zanesljivih podatkov o prirodnih osnovah

* Glej prispevek P. Habiča v tem zborniku

ter preveč neurejenih in neusklajenih hidrološko–tehničnih podatkov o koriščenju, distribuciji in uravnavanju vodnega bogastva. Za obdelavo in pripravo karte ter osnov veljajo tudi skupna določila, ki pa strokovno še niso tako usklajena, da bi obdelava manjših regij, kot je na primer ozemlje občine, lahko bila smiselno vključena v regionalne karte in osnove.

Do sedaj dobljene podatke in doseženo znanje bomo dopolnjevali izven okvira opravljene raziskovalne naloge. Terensko delo bomo izvajali v povirnem delu Pivške kotline južno od Radohove vasi tja do Zagorja in Knežaka ter v severni rob Postojnske kotline, kjer je razvodje Nanoščice in ponikalnice Predjame. Laboratorijsko delo bomo usmerili v aktualne analize površinskih in podzemeljskih voda, kabinetno pa v sestavljanje skupnih rezultatov. Tako bomo po eni strani poskušali zaključiti raziskovalni program, po drugi strani pa sproti spremljati in preučevati hidrološke probleme.

PREDLOG NADALJNJIH RAZISKAV ZA VODNOSPODARSKO REŠITVE NA PIVKI

Pripravljanje vodnogospodarskih osnov Postojnske občine je kljub nekaterim nedokončanim temam pokazalo, da je bilo aktualno zastavljeno, saj je poleg osnovnega znanja, ki ga sicer pri tovrstnih nalogah nikoli ni zadosti, dalo še več napotkov za nadaljnje konkretne raziskave.

Nujno je nadaljnje preučevanje geološke zgradbe in sicer v smeri stratigrafsko–litološke opredelitve kamnin in strukturne zgradbe za ugotovitev, kako in kako globoko pod površjem Pivške doline se zadržujejo in razhajajo vododržne flišne in vodopropustne apnenčeve kamnine. Z raziskavami na površju lahko zgradbo v globini predvidevamo, z ustrezno zastavljenimi vrtinami pa bi predvidevanja potrdili. Z ugotovljeno zgradbo bomo lahko predvsem bolje kot doslej sklepali na debelino flišnih plasti, na zakraselost apnencev v krovnini in v talnini, na vodne horizonte v različnih globinah in na morebitne statične vodne zaloge.

Raziskave so pokazale, da lahko domnevamo, kam in kje se podzemeljsko pretakajo ponorne vode iz Pivške doline. Načrtovati in izvesti bi morali kombinirane sledilne poizkuse, da bi ugotovili razvodje med pritoki Pivke oziroma Ljubljaničnice ter Notranjske Reke, med številnimi ponori Pivke v njeni strugi in izviri na NE strani Javornikov. Predvsem gre za opredelitev zaledja in s tem povezano določitev varovalnih pasov izvirov v Malnih. Metodologija sledilnih poskusov je že precej znana, postopki pa tudi že osvojeni tako, da njihova izvedba ni problematična.

Smotrni hidrološko – tehnični posegi v vodni režim Pivške kotline ter vsi drugi urbanistični, agrotehnični in industrijski načrti o izrabi in urejanju prostora, so odvisni in povezani z zgoraj navedenimi spoznanji. Bistveni so tudi za čedalje bolj aktualno ohranjanje kvalitete vode in za reguliranje odtokov inboljšanje odpadne vode.

LITERATURA

- Breznik, M., 1983: Večnamenska akumulacija Cerknškega jezera. Gradbeni vestnik, 31/1, Ljubljana.
- Gams, I., 1966: K hidrogeologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknškim poljem. Acta carsologica SAZU, 4, 5-50, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: Geološke razmere v Postojni. Ljudje in kraji ob Pivki, 2. knjiga, 145-153, Ljubljana.
- Gospodarič, R., F. Habe, P. Habič, 1970: Orehovški kras in izvir Korentana. Acta carsologica SAZU, 5, 95-108, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1970: Vodnogospodarske osnove občine Postojna, poročilo 1.faze. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1970: Vodnogospodarske osnove občine Postojna, poročilo 2. faze. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Habič, P., 1975: Pivka in njena kraška jezera. Ljudje in kraji ob Pivki, 1. knjiga, 41-50, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, I. Kenda, A. Kranjc, 1975: Osnovna spelološka karta Slovenije, 2. nadaljevanje, Naše jame, 17, 151-171, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, J. Kogovšek, 1984: Kraške in hidrogeološke značilnosti Košanske doline ter njen prispevek k onesnaženosti Notranjske reke. Acta carsologica SAZU, 12 (1983), 67-89, Ljubljana.
- Placer, L., 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. Geologija, 24/1, 27-60, Ljubljana.

THE CONTRIBUTION TO WATER ECONOMY BASES OF PIVKA

Summary

In 1985 the researches were achieved in foreseen extent. The majority of work was dedicated to geological and hydrogeological studies and the results present a contribution to better knowledge of the western border of Pivka basin.

By detailed geological mapping we've limited the eastern border of Slavenski ravnik between Sajevoško polje and Pivka, we've seen the extent of impermeable Eocene flysch between this karst peneplain and karst of Orehek. More in detail we've checked and located the overthrust of Orehek karst and we've discovered several fault zones of regional and local importance. We've combined the structures with similar structures within the Pivka river area and thus we got the detailed survey of geological setting of central part of Pivka valley.

The field data were drawn on topographic sheets 1:5.000, partly simplified they are presented on detailed map 1:25.000 (Annex 1) and several cross geological profiles were reconstructed (Annex 2) between the surface and 400 m above the sea level. And on the base of these geological data we've deduced the hydrogeological properties.

In karst of Orehek we've investigated the Upper Cretaceous and Lower Paleocene limestone beds in normal and in reverse position. It is inclined, relatively uplifted block of carbonate platform which is in Postojna basin covered by Lower Eocene flysch, south of Prestranek it is tectonically raised and dislocated along the faults; the mantle flysch is eroded, the Paleocene and Upper Cretaceous limestone beds of allochthonous Snežnik Mt. are uncovered. Between Slavina and Pivka the impermeable flysch

layers and limestones of Slavenski ravnik (a part of parautochthonous Komen horst), in generally inclined under the Pivka basin, are hydrogeologically and geomorphologically important. How far eastwards they reach and how deep under the basin surface they are located could be found out by suitable bore-holes. By such method we could explain the regional geological setting and related questions about the depth of underground bifurcation of karst water from the Pivka basin.

Detailed geological studies have shown two separated karst aquifers with different degree of karstification and different hydrological properties. These are Slavenski ravnik and karst of Orehek. Through Slavenski ravnik the precipitations and sinking streams from flysch, inclined for 17° , are flowing supposingly towards south-southeast, where the anticline of the most karstified Upper Cretaceous limestones is inclined. Through karst of Orehek oriented sinking streams feed the springs of Nanoštica and Pivka. In the case of Orehovške ponikve and spring Pod Poličkom the velocity of underground flow 6,2 cm/s 100 m under the surface approximatively was stated previously on the base of Korentan spring observations (R.Gospodarič, F. Habe, P.Habič, 1970) and the minimal specific runoff from karst of Orehek was calculated ($2,1 \text{ l/s/km}^2$). These data are approaching to reality only because we don't know all the underground connections between the ponors and springs in detail, neither we know where flow numerous sinking streams from the western border of Pivka basin. Similar question could be posed for Pivka river, which partly sinks under Pivka town and before Prestranek, without exact knowledge where the water reappears.*

On the base of existing and new hydrological and speleological data we've composed the karst ground water contour in the karst underground of the commune area and of entire karst of Notranjska (P.Habič, 1985). The synoptic map shows that the water table from Pivka basin lowers gradually towards Malni and more steeply towards Notranjska Reka. In the region of Javorniki Mt. the water table oscillates sensibly depending on precipitations and during high waters it is inclined towards Pivka basin too. This creates complicated hydrological conditions, as the karst and superficial waters are mixed, in other word, relatively pure waters are mixed with waste waters on different horizons. The wish to know the hydrological regime of Javorniki and its border, Malni included in detail, is understandable. But for the moment we don't have suitable observation piesometres, neither qualitative and quantitative data on directions, altitude and flow velocity and retention of karst and allochthonous water in the underground, the actual knowledge in hydrogeology is inadequate.

In spite of some not yet achieved topics the study of water economy bases in the Postojna commune has given the positive results, as we've got beside the basic knowledge, which is never sufficient at such researches, more informations for further concrete investigations.

It is urgent to continue the study of geological setting oriented towards stratigraphic-lithological rocks definition, structural setting namely to find out where and how deep under the surface of Pivka basin the impermeable flysch and permeable limestone rocks are either united or separated. By investigations on the surface the structure in depth could be foreseen, by suitable bore-holes these anticipations could be confirmed. Better than now we could state how thick are the flysch layers, how karstified are the limestones in mantle rock and in foot rock, we could define water horizons in different depths and probable water reserves.

The researches have shown that we can suppose only where the underground sinking streams from Pivka basin are flowing. We have to plan and realize the combined water tracing test to confirm the watershed between the Pivka tributaries, Ljubljana and Notranjska Reka respectively, among

* See the contribution of P.Habič in the same volume

numerous Pivka ponors in its riverbed and springs on NE side of Javorniki Mt. Primarily it is important to define the background and related protection belts of Malni springs. The methodology and processes of water tracing tests are known thus the realization is not problematic.

Systematic hydrological technical interventions into Pivka basin water regime and all the others urbanistic, agrotechnical and industrial plans about the use and exploitation of space depend and are connected to above mentioned knowledge. They are essential for more and more necessary preservation of water quality and for regulation of runoff and melioration of waste waters.

Priloga 1

Geologija Pivke

1. ilovnat poplavljeni svet ob Pivki in pritokih
2. prodni zasipi in vršaji
3. flišne kamnine, neprepustno
4. flišne kamnine, delno prepustno
5. numulitno-alveolinski in miliolidni apnenec pri Petelinju in Sajevčah s koralami, pri Gradcu in Petelinju zvezni prehod v spodnjeeocenski rdečkasti laporni apnenec; zakrasel.
6. foraminiferni apnenec
7. skladnat in debeloskladnat mikritni apnenec z drobnimi moluski, foraminiferami in algami, pri Orehovških ponikvah s premogom, pri Prestranku s konglomeratom, "vremške in kozinske plasti"; zakrasel.
8. različno skladnat, temnosiv, bituminozen apnenec z rožencem in nekaj dolomita, giroplevre, "vremške plasti"; zakrasel.
9. skladnat in neskladnat bel rudistni apnenec z roženci; zelo zakrasel
10. debeloskladnat rudistni apnenec; zelo zakrasel
11. smer in upad plasti, gube
12. dislokacije: narivi, prelomi, cone
13. ponori, stalni in občasni izviri, stalni in občasni vodotoki
14. poimenovane dislokacije
15. prečni profili na prilogi 2

Priloga 2

Geološka zgradba in hidrogeološke enote Pivke, profili

Q - kvartarne naplavine, neprepustno

Pc, E - apnenec z rožencem, laporni apnenec, prepustno

K₂⁴, Pc - skladnat apnenec, zakraselo

K₂³ - debelo skladnat apnenec, zelo zaskraselo

a - prelomi, cone

b - ponori, izviri

Annex 1

1. loamy flood area along Pivka and its tributaries
2. gravel bar and fans
3. flysch rocks, impermeable
4. flysch rocks, partly permeable
5. nummulite-alveoline and myliolid limestone near Petelinje and Sajevoče with corals; near Gradec and Petelinje transition to Lower Eocene reddish marl limestone; karstified
6. limestone with foraminifera
7. bedded and thick-bedded micritic limestone with thin mollusks, foraminifera and algae, near Orehovške ponikve some coal, near Prestranek conglomerate, "Vreme and Kozina beds"; karstified
8. differently bedded, dark grey bituminous limestone with chert and some dolomite, gyroplevras, "Vreme beds"; karstified
9. bedded and non-bedded white limestone with Rudists and cherts; very karstified
10. thick-bedded limestone with Rudists; very karstified
11. dip and strike of beds, folds
12. dislocations: over-thrusts, faults, zones
13. ponors, permanent and periodical springs, permanent and periodical water flows
14. named dislocations
15. cross-sections on Annex 2

Annex 2

Geological Setting and Hydrogeological units of Pivka, Profiles

Q - Quaternary alluvium, impermeable

E - flysch rocks, impermeable

Pc, E - limestone with chert, marl limestone, permeable

K₂⁴, Pc - bedded limestone, karstified

K₂³ - thick-bedded limestone, very karstified

a - faults, zones

b - ponors, springs

U SERIES DATING STUDIES OF
URSUS SPELAEUS DEPOSITS IN
KRIŽNA JAMA, SLOVENIA

Z U SERIJO DOLOČENE STAROSTI PLASTI Z JAMSKIM
MEDVEDOM IZ KRIŽNE JAME, SLOVENIJA

DEREK FORD - RADO GOSPODARIČ

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Križna jama):903.3

Ford, Derek, Gospodarič, Rado: Z U serijo določene starosti plasti z jamskim medvedom iz Križne jame, Slovenija

Križna jama je vodna jama z aktivnimi rovi v višini 610 m n.m. Med suhimi rovi v višini 620 do 640 je tudi Medvedji rov, v katerem se izmenjavajo kosti jamskega medveda z meljem in kalcitna siga s stalagmiti. Poskusi, da bi z ^{230}Th : ^{234}U metodo določili starost, so bili zelo oteženi zaradi nizke vsebnosti U (- 0.1 ppm) in visoke vsebnosti ostankov razpadanja Th, poleg možnega razgrajevanja U in organskih snovi, tako da je od 31 analiz le 10 dalo sprejemljive rezultate. Šest podatkov iz dveh primerljivih čistih stalagmitov leži v točnem stratigrafskem redu.

Na najdišču je siga pričejala rasti pred 170.000 leti BP. Rast se je nadaljevala (z manjšimi prekinitvami) do 146.000 \pm 14.000, ko je bila prekrita z meljem in kostmi jamskega medveda. Rast se je kamlu zatem nadaljevala (z manjšim presledkom) do 126.000 \pm 11.000, ko se je ponovno pojavila plast z ostanki jamskega medveda. Spodnja (starejša) plast jamskega medveda je mogoče nastala v vdorom zgornje, mlažje plasti.

Ključne besede: speleokronologija, (abs.) datacija z U serijo, jamski medved, Križna jama, Slovenija.

Abstract

UDC 551.442(497.12 Križna jama):903.3

Ford, Derek, Gospodarič, Rado: U series dating studies of *Ursus spelaeus* deposits in Križna Jama, Slovenia

Križna Jama is a river cave with active passages at 610 m asl. Relict passages between 620 and 640 m include Medvedji rov which contains silts with bones of *Ursus spelaeus* that are interlayered with calcite flowstones and stalagmites. Attempts to date the calcites by the ^{230}Th : ^{234}U method encountered severe difficulties due to the low U content (0.1 ppm) and high detrital Th content, plus possible leaching of U and complexing with organic matter. 31 analyses yielded 10 acceptable results. Six dates from two comparatively clean stalagmites were in precise stratigraphic order.

Flowstone began growing at the site before 170000 years B.P. It continued to grow (with minor hiatuses) until 146000 \pm 14000 when it was buried by silts containing *U. spelaeus* bones. Growth resumed shortly afterwards, and continued (with one minor hiatus) until 126000 \pm 11000 when there was a second burial by silts containing *U. spelaeus* remains. The lower (older) *U. spelaeus* silt may be an intrusion from the upper, younger silt.

Key words: speleochronology, (abs.) datation by U series, cave bear, Križna jama, Slovenia.

Naslov - Address

Prof.Dr. Derek Ford

Department of Geography Mc Master University

1280 Main Street West

HAMILTON, Ontario L8S 4K1

Canada

INTRODUCTION

This paper describes a piece of research that Dr. Rado Gospodarič and I pursued together between 1978 and 1983. It is with great sadness that I write it and make the interpretations without him. Rado and I were good friends since we first met at the 5th International Speleological Congress, Stuttgart, in 1969. After that we were together in the field at different times in Slovenia, in the high Rocky Mountains of Canada and in Kentucky. In July 1987 Rado and his daughter were my guests in the dolomite island karst of Lake Huron; it was a brief visit before he went to the INQUA congress in Ottawa where he presented a preliminary paper that gave his interpretations of the speleothem dating work we had done together (Gospodarič, 1987). At that time we planned to conclude our analysis and write a joint paper during the early summer of 1988. It was not to be. Here I present my interpretation of the results – to commemorate a dear friend.

Rado's greatest interest, perhaps, was in sedimentary deposits in the Slovene caves. Many readers will appreciate that such deposits can be very complex, often bewildering, stratigraphic and sedimentological phenomena. This is because of the rapid lateral and vertical transitions that can occur in caves, and because there may be much reworking of older deposits or intrusion of newer ones into a stratigraphic section. Deposits often contain allochthonous detritus (sand, silt, clay, etc.), allochthonous and autochthonous organic remains (bones, nests) and autochthonous precipitates ("speleothems", such as calcite flowstones and stalagmites) that are interlayered in complex sequences. The differing materials represent the predominance of different processes at different times during the accumulation of these piles of sediments.

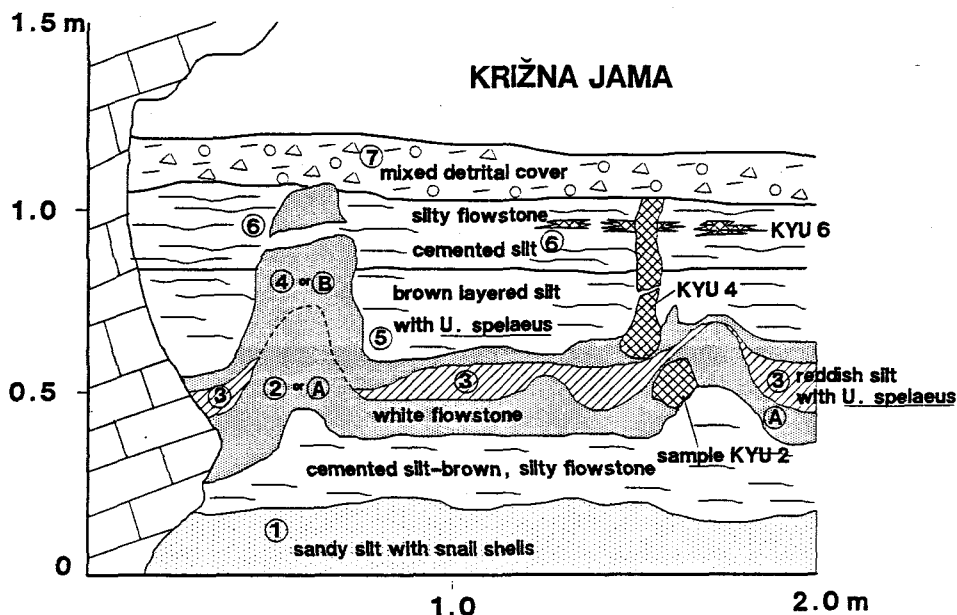
Many calcite speleothems can be dated by the Uranium series radiometric methods. This dating is, at the present time, the principal means of ordering and correlating cave sediments that are older than the (approximately) 38000 years BP limit of the carbon-dating method. However, difficult sedimentological and other problems can be encountered in U series dating, especially where the flowstone layers are mixed irregularly with clastic and organic deposits. Investigators should never be satisfied with just one or two U series dates from a complex stratigraphic section; there must be repeat measurements, plus new samples from lateral deposits that are believed to correlate with those already dated. It is best to return to the site after a first series of dates have been obtained, because those dates may suggest that the earlier stratigraphic mapping was in error.

The problems that may arise when attempting to date even quite simple sequences of deposits in caves are well illustrated by the project that Rado and I undertook together in the great cave, Križna Jama, near Postojna.

THE *URSUS SPELAEUS* DEPOSITS IN KRIŽNA JAMA

Križna Jama is a river cave that drains Bloke Polje into Cerknica Polje, Slovenia. The modern river passage is large and at 610 m above sea level. It is prone to violent flooding. There are older passages between 620 and 640 m that no longer flood; they contain major deposits of fluvial sediments and some speleothems. One of these passages, Medvedji rov (Bear Passage) has a big, protected recess where some silts containing large numbers of bones of *Ursus spelaeus* are interlayered with flowstones.

The apparent stratigraphy of the site is shown in Figure 1. Rado took me there in April 1978 as part of a general geomorphic excursion in the cave. At that time he supposed that the bones were of Early or Middle Wurm age; they were known to be older than 38000 years. Their close stratigraphic association with flowstones made it worthwhile to attempt U series dating. Small samples were taken from the flowstone layers immediately above and below the principal *Ursus spelaeus* remains at a point approximately two metres to the right of the sections illustrated in Figure 1.



SL.1 Stratigrafija plasti jamskega medveda v Medvedjem rovu Križne jame, ki kaže lokacijo vzorcev kapnika KYU 2, 4 in 6. Meritev in risbo sta izdelala R.Gospodarič in M.Kranjc decembra 1982.

Fig.1 The stratigraphy of the *Ursus spelaeus* deposits in Medvedji rov, Križna Jama, showing the locations of speleothem samples KYU 2, 4 and 6. Survey and drawing by R. Gospodarič and M. Kranjc, December 1982.

U SERIES DATING

The natural isotopes, ^{238}U , ^{235}U and ^{234}U occur in trace amounts in all rocks and soils and can be quite abundant in felsic volcanic rocks and black shales. Their radioactive decay by (^4He), and emissions to stable ^{207}Pb , ^{206}Pb offers many potential dating schemes. The most important is the decay of ^{234}U to ^{230}Th . When weathered from rocks, uranium is readily soluble in ionic forms such as $\text{UO}_2(\text{CO}_3)^{2+}$, and thus may be coprecipitated when calcite is precipitated from saturated ground water. The thorium or protactinium to which U decays is insoluble in normal waters and so is not precipitated in speleothem. If the relative abundance of ^{238}U , ^{234}U and ^{230}Th can be determined by sampling their respective particle production rates (alpha spectrometry) it is possible to obtain the age of the host sample in the range, 1000 to 350000 or 400000 years BP.

^{230}Th : ^{234}U dating by alpha spectrometry is now the standard method. 10 to 50 gms of calcite sample (depending upon the abundance of U and Th in it) are dissolved and the U and Th extracted or separated in a 20-step extraction process. These isotopes are then plated out onto separate stainless steel discs and placed in alpha counters until approximately 10000 decay counts have been recorded. There are many lengthy reviews giving details of procedures (e.g. Cherdyntsev, 1971; Ivanovich and Harmon, 1982; Ford and Schwarcz, 1981; Schwarcz, 1980, for the particular problems of archaeological sites; etc.). The McMaster University laboratory directed by Professor Schwarcz and me since 1970 is one of the leading centres of speleothem dating.

Not all speleothems can be dated. Most reviews emphasize that there are three principal requirements for success:

1. There must be sufficient U in the sample. With modern extraction procedures it is possible to work with as little as 0.01 – 0.02 ppm U; however 1 or 2 ppm is preferred because the accuracy of the results is greatly improved.
2. The calcite cristal lattice (with its trace U content) must be impervious. If it is not, later groundwaters may leach some U atoms from it preferentially. This results in the calculation of too great an age for the sample.
3. There must be little or no thorium from particles of detritus trapped in the calcite as it is accumulating. Although thorium does not dissolve, it readily bonds to clay colloids or other solids in suspension in water. If the speleothem has a large content of detrital clay it is likely also to have a large content of detrital thorium; this results in the calculation of too great an age for the sample.

Detrital thorium can be a great problem. We attempt to estimate its significance by comparing the abundance of ^{230}Th (which can derive from detritus or from decay of ^{234}U) to that of ^{232}Th (which can only derive from detritus). Where the ratio, ^{230}Th : ^{232}Th , is greater than 20:1 it is safe to assume that detrital thorium is not significant.

In addition to these three standard requirements, our McMaster laboratory experience of the past 15 years suggests a fourth – that there be little or no organic matter contained in the

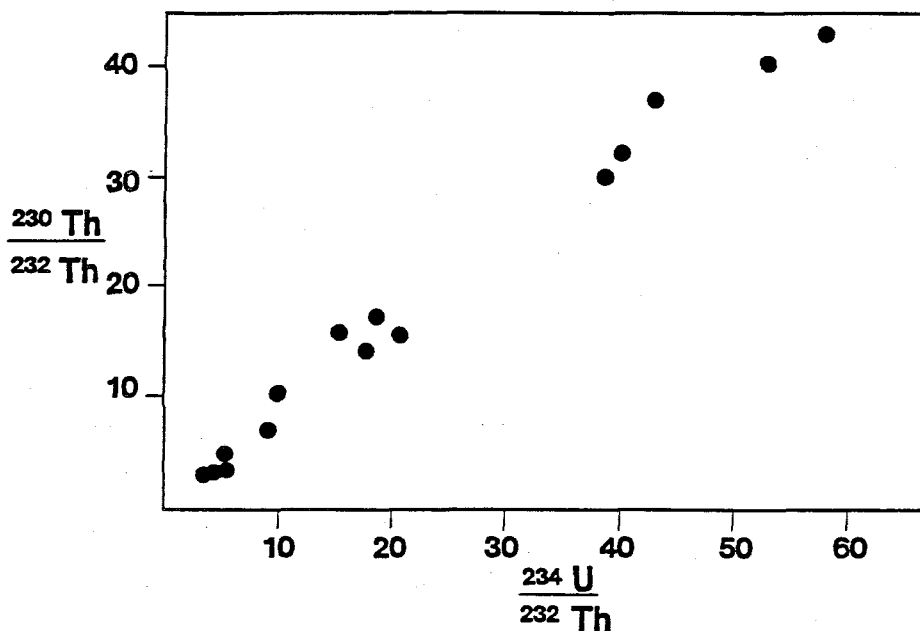
TABLE 1. U SERIES DATES FROM U. SPELAEUS SITE, KRIZNA JAMA.

SAMPLES	U ppm	YIELDS %		^{234}U ^{238}U	^{230}Th ^{234}U	^{230}Th ^{232}Th	Age (ka)	Age corrected assuming initial $^{230}\text{Th} = 1.25$
<hr/>								
A, 1978 collection								
YUGK 1A	0.10	24	34	1.102	0.896	4.64	226 + 60 - 40	198 + 63 - 43
1A Repeat	0.11	52	66	1.089	0.763	31.4	151 + 16 - 15	
YUGK 2A	0.10	32	46	1.155	0.670	3.4	116 + 11 - 10	87 + 13 - 13
2A Repeat	0.10	24	34	1.156	0.840	3.3	184 + 34 - 26	146 + 38 - 31
<hr/>								
B, April 1982 collection								
YUG K2 R Top	0.12	25	47	1.189	0.703	37.4	126 + 11 - 10	
K2 R Middle	0.11	12	36	1.232	0.725	42.7	132 + 13 - 12	
K2 R Base	0.13	10	49	1.148	0.756	29.3	146 + 14 - 13	
YUG K4 Top	0.15	18	27	0.925	0.728	122	146 + 44 - 31	
K4 Middle	0.10	24	30	1.133	0.816	36.1	173 + 27 - 22	
K4 Base	0.07	28	36	1.520	0.986	15.7	251 + 54 - 38	244 + 55 - 40
<hr/>								
C, December 1982 collection								
KYU 2 Top	0.10	24	21	1.150	0.903	17.4	224 + 54 - 37	218 + 55 - 38
2 Hiatus	0.10	29	50	1.191	0.801	14.6	162 + 16 - 14	155 + 17 - 15
2 Middle	0.13	22	27	0.940	1.091	10.3	>350 or indeterminate	
2 Base	0.10	35	36	1.116	0.806	7.1	169 + 25 - 21	150 + 27 - 23
KYU 4S Base	0.08	40	6	1.107	0.735	15.5	139 + 33 - 25	133 + 36 - 29
KYU 6 Base	0.17	19	18	1.178	0.918	3.2	233 + 50 - 36	190 + 56 - 41

speleothem. Organics appear to chelate U and Th during the extraction processes, and may remove part or all of one or the other of them. This is not determined until counting is complete. Then it is learned that the entire preparation, extraction, plating and counting process (10 days' work) was wasted on the sample. It must be repeated or the sample abandoned.

RESULTS

Results of the analyses at McMaster University are presented in Table 1 and Figure 2.



Sl.2 Izohronska risba razmerij $^{230}\text{Th} : ^{232}\text{Th}$ in $^{234}\text{U} : ^{232}\text{Th}$ analiz, predstavljenih na tabeli 1 - podatki U serije z najdišča jamskega medveda v Križni jami. Nagib črte je izohronska starost približno 150.000 let BP.

Fig.2 Isochron plot of the $^{230}\text{Th} : ^{232}\text{Th}$ and $^{234}\text{U} : ^{232}\text{Th}$ ratios of the analyses cited in Table 1. U series dates from *U. spelaeus* site, Križna Jama. The slope of the line is an isochron age of approximately 150000 y B.P.

Specimens collected in April 1978

Rado and I collected specimens of 500 gms each from the flowstones above and below the principal *Ursus spelaeus* layer. The specimen above was given the code number, YUG

K1, and is believed to be lateral equivalent of Layer 4 or B in the section given in Figure 1. The lower specimen was coded YUG K2 and is believed to be equivalent to Layer 2 or A. During 1980 and 1981 a total of nine samples were taken from these two specimens, consuming them completely. From the Table it is seen that only four samples gave publishable results. In the other five cases, U was largely or entirely lost during extraction.

From this first set of analyses it became apparent that all four of the problems listed above that can arise in U series studies are encountered at the Križna Jama site.

1. The U content of speleothems is very low (0.07 – 0.2 ppm only). The same is true of samples from Postojna Jama also; in fact, we are finding that low U is typical of holokarstic sites around the world (e.g. in Jamaica; Belize; at Guilin, China, etc.). Much better results are obtained at sites where shale caprocks are near (e.g. Kentucky; Yorkshire; Nahanni, Canada).

Because of the low U content, 35 to 50 g of calcite must be taken to obtain sufficient U and Th atoms for an analysis. This represents three or four cm³ of material. From sites that have flooded (such as Križna Jama) such large volumes of calcite will almost inevitably contain detrital clay with thorium, organic matter, and perhaps vuggy patches where U leaching can occur.

2. The 1978 samples do have a large content of detrital thorium. In Table 1 it is seen that three of the four "successful" results have ²³⁰Th: ²³²Th ratios far below the value of 20:1 that is considered to be the lower limit for clean, detritus-free, calcite. This is despite the fact that all samples were subject to careful cleaning procedures. Note that, where there is a high detrital content, it is the convention to calculate two ages: (i) a simple age assumes that the initial ²³⁰Th: ²³²Th ratio was 1.0 in the detritus, and (ii) a "corrected" age that assumes that the initial ratio was 1.25 or 1.50 (see Ku 1976 for details).

3. There appears to have been a lot of organic matter contained in the feed waters from which the calcites at the site were deposited. Even samples of white or translucent calcite from the 1982 collections yielded an organic foam upon dissolution in HCL. As a consequence U yields from the extractions were generally low, as will be seen if they are compared to Th yields throughout Table 1. Altogether, a total of 31 analyses were attempted from the three collections; they yielded only 16 publishable results, chiefly because U yields were too low or zero.

From the April 1978 collection only one analysis, YUG K1A Repeat, is of truly acceptable quality. This was an analysis of four cm³ of calcite with minor clay, from the lower half of the original specimen. It was ground and hand-screened before dissolution, when it appeared to be free of clay. Its date suggested that this flowstone layer began growing upon the principal *Ursus spelaeus* layer at some time between 135000 and 165000 years BP. Rado suggested that this might be too early for *Ursus spelaeus*. The calcite had contained vugs, so it was possible that preferential leaching of U had occurred after the flowstone was deposited; this would cause too great an age to be calculated. To resolve this problem Rado made a second collection at the site in April 1982.

Specimens collected in April 1982

Rado deliberately sought the largest volumes of the cleanest material available in the two flowstone layers. He found these several metres from our previous collecting position. They were two stalagmites growing in and on the flowstones. They were not emplaced directly above one another, but were offset approximately one metre apart and at the same elevation.

YUG K2R was a portion of a stalagmite that Rado believed to be from Layer 2 (Figure 1). It was tapered, and 11 – 14 cms in diameter. It consisted of clean, translucent to white calcite with a weathered outer surface. A dirtier, vuggy layer in the centre represented a possible hiatus in growth. Part of the true base of the deposit (silt cemented by calcite) had been removed before it was shipped to McMaster University.

Given the difficulties of low U content and complications from organic matter present, this specimen yielded excellent results. Analysis K2R Base was of the basal one cm of clean calcite. K2R Middle was a one cm thick layer of darker calcite 5 cm above the Base sample, and just above the central vuggy layer. K2R Top was the top one cm after removal of the weathered, outermost three mm. It was 1.5 to 2.5 cm above the Middle sample.

From the dates, it appears that this specimen grew rather steadily between approximately 146000 and 126000 years BP, when it was abruptly buried by deep silt containing *Ursus spelaeus* bones. There was a brief cessation of deposition (possibly caused by a minor flood) shortly before the Middle date of 132000 years. The rate of extension of this stalagmite averaged 0.25 cm per thousand years.

Specimen YUG K4 was a section across the base of a stalagmite 9 to 15 cm in radius. Rado believed it to be from Layer 4 in Figure 1. Its core had high vug porosity, with intruded clay. The outer growth was of finely laminated, white calcite; there was one minor but distinct hiatus in growth halfway through it.

Analysis YUG K4 Base was of ground calcite from the vuggy core that was washed, hand-screened, and leached to 50% dimensions in HCL before standard dissolution and extraction. Its very low U content and its great age suggest that despite these precautions, the analyzed sample had suffered preferential leaching of U.

Analysis YUG K4 Middle was of a one-cm layer of the laminated calcite directly below the central hiatus. It indicates that growth halted for an unknown (but probably short) time interval around 170000 \pm 25000 years BP.

The top date was of calcite 0.8 to 2.0 cm above the hiatus; an outermost 2 mm of weathered material was removed. A problem with an alpha particle counter compelled us to reduce the counting time for the Thorium spectrum of this sample to well below the norm. This explains the very wide error margin (one standard deviation) about the calculated age of 146000 years. There were two further attempts to date this layer; U was lost in one case, and Th in the other.

Specimen YUG K4 began to grow at some unknown time before 170000 y BP. Growth halted for an unknown duration. Thus, the hiatus may coincide with the coldest period of the penultimate glaciation. Growth was renewed, and then terminated when the deposit was buried by silt containing *Ursus spelaeus* remains at 146000, + 44000, and – 31000 years BP.

The six dates from two flowstones buried by *Uspelaeus* silts give a perfect stratigraphic order. This is rare in U series dating by alpha spectrometry, and perhaps unprecedented in deposits with low U and high detrital Th problems such as are encountered at this site. Therefore, they appear to be a most satisfactory set of results. However, the great problem is that the younger stalagmite from the U series results, K2R, was assigned by Rado to the older stratigraphic position (Layer 2), and vice versa. Either there had been a mis-assignment at this complex site, or a mistake in labelling afterwards. Because of this and because of the poor U yields attributable to problems with organics (especially for the analyses, K4 Top, K2R Base and K2R Middle that lie around what appears to be a critical date of 146000 years), Rado decided that he must take a third collection.

Specimens collected in December 1982

Rado was assisted by Mrs. Maja Kranjc. The site was measured carefully for the preparation of Figure 1. Three new specimens were taken, as shown in the figure. These were given the general designation, KYU, in order to avoid confusion with the two earlier YUGK collections. KYU 2 was from Layer 2 or A; KYU 4 was a candlestick stalagmite growing from the Layer 4 (or B) flowstone and truncated by erosion at the Layer 6 – to – 7 contact; KYU 6 was a calcitic overgrowth on this stalagmite that was deposited and then buried during the accumulation of the Layer 6 cemented silts.

The data shown in Table 1 tend to uphold the old scientific notion that when a good result has been obtained (as it was from the April 1982 collection) the workers should halt the research!

Specimen KYU 2 was a flowstone 8 cm thick. It has a dirty base with high vug porosity, plus minor hiatuses with clay and vugs at 4 cm and 6 cm above the base. A total of eight analyses were attempted, all Th being lost in two, and most U in two others. Analysis KYU 2 Base was of 2 cm of discoloured calcite immediately above the dirtiest, basal material. Its date is broadly concordant with the YUG K4 Base and K4 Middle results. Analysis KYU 2 Middle incorporated clay or vuggy calcite from the + 4 cm hiatus; evidently, the attempts to clean it failed because it yielded an indeterminate age. Analysis KYU 2H was of a one cm layer of cleaner calcite between the +4 and +6 cm hiatuses; it, too, is broadly concordant with the YUG K4 Middle date. Analysis KYU 2 Top was 1 to 2 cm above the +6 cm hiatus; the calcite was vuggy and contained intruded silt which, clearly, created analytical difficulties.

The candlestick stalagmite, KYU 4, was 3.5 cm in diameter. Upon sectioning it was found to be dirty and with many vugs throughout its length. Four out of five analyses failed due to loss of most or all U or Th. Analysis KYU 45 Base was prepared with great care and all cleaning techniques applied; its thorium yield can be judged a failure, but it gives an age that is broadly concordant.

Specimen KYU 6 was a mixture of layered silt cemented by calcite and layered calcite impregnated with silt. There is too much detrital Th contamination for significant results; one analysis that yielded a finite age is cited in Table 1 as an example.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Isochron age

It has been emphasized that, because of their low U content, high detrital and organic contamination and possible leaching, the Križna Jama speleothem deposits at the *Ursus spelaeus* site present great difficulties for conventional U series analysis by alpha spectrometry. Such intractable deposits are often encountered at archaeological sites in cave entrances and on spring travertines. For such deposits, Schwarcz (1980) has proposed an isochron dating technique where, if repeated analyses of a very dirty specimen yield a good linear relationship in the ratios, $^{230}\text{Th} : ^{232}\text{Th} \text{ v } ^{232}\text{U} : ^{234}\text{Th}$, the slope of the line is indicative of the true age of the deposit. Figure 2 is such an isochron plot for all of the samples listed in Table 1. It is seen that there is a good linear relationship. The slope of the line yields an isochron mean age of 150000 years BP for the entire collection.

The nature and age of *Ursus Spelaeus* Layer 3

It is my opinion that the stratigraphic sequence of dates obtained from the April 1982 collection of speleothems should be accepted as it is presented in Table 1. YUG 4K represents flowstone of Layer 2. YUG K2R represents flowstone of Layer 4. There was a labelling accident or mis-assignment at the site.

From that sequence of dates and the site sedimentology the following record appears:—

1. Growth of flowstone Layer 2 was terminated around 146000 BP by the aqueous or colluvial deposition of silts containing bones and bone fragments of *Ursus spelaeus*.
2. The duration of silt Layer 3 deposition was too short to be resolved by the U series dates. It was possibly a single flood event of exceptional magnitude. It is the brevity of this event that contributes to the difficulty in distinguishing flowstones that grew before and after it.
3. Deposition of flowstone Layer 4 began on top of this silt around 146000 years and continued until 126000 years BP. Then it also was terminated by rapid burial in silt containing bones of *Ursus spelaeus*, = silt Layer 5.
4. Calcite deposition resumed during Layer 6, but there was now a steady supply of airborne or waterborne silt to contaminate it.
5. The top of the section (Layer 6) was truncated by flood action. The mixed clastic deposits of Layer 7 have accumulated upon the truncation surface since that event.

The April 1982 U series age estimate of approximately 146000 years for the Layer 3 event is strongly supported by the isochron result, and by the U series ages for YUG K1A Repeat, YUG K2A Repeat ("corrected" age), and KYU 4S Base. YUG K4 Middle, KYU 2 Base and KYU 2H are acceptable that confirm that flowstone Layer 2 was growing, with one or two hiatuses, for 20000 to 40000 years before deposition of Layer 3 terminated it. The YUG K2R Middle and Top dates show us that the same mode of calcite deposition resumed at the site after the Layer 3 event and was sustained for a further 20000 years.

It is my opinion that the *Ursus spelaeus* bones of Layer 3 were re-deposited at this she-

Itered site. They could therefore be significantly older than the 146000 \pm 14000 "best date" from YUG K2R Base.

An alternative possibility is that the bones of Layer 3 are intrusions from Layer 5. If this is so, then the *Ursus spelaeus* could be younger than the Layer 4 "best date" of 126000 \pm 11000 years. This question should be resolved by careful sedimentological studies at the site.

I believe that this is the first time that the ^{230}Th : ^{234}U dating method has been applied to a problem in the stratigraphy of *Ursus spelaeus*. The Križna Jama site is clearly of great interest and may yield further results in the future.

U series dating of speleothems by mass spectrometry

In 1988–89 our laboratory obtained the first ^{230}Th : ^{234}U dates on speleothems by means of direct atom counting in a mass spectrometer (Li et alia 1989). This new method requires access to an extremely expensive instrument (a solid source mass spectrometer). However (i) it greatly increases the precision of the date (the first standard deviation is normally less than one per cent of the age determined), (ii) it extends the potential dating range back to 500000 or even 600000 years BP, and (iii) it requires much smaller samples for analysis. All of these features should permit us to obtain better results upon the Križna Jama specimens that still remain in the McMaster lab. I hope to undertake the work during 1990, and will report it to you; I deeply regret that Rado cannot take part in this exciting new development.

Acknowledgements

Mrs. Maja Kranjc assisted Dr. Gospodarič at the collection site. The cost of U series analyses at McMaster University was supported by a research grant to Ford from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

REFERENCES CITED

- Cherdyn'tsev, V.V., 1971: Uranium 234. Israel Program for Scientific Translations.
- Ford, D.C. and Schwarcz, H.P., 1981: Uranium series disequilibrium methods. in Goudie A. (Ed.). Geomorphological Techniques. George Allen and Unwin, London, pp. 284–287.
- Gospodarič, R., 1987: Geochronology of Quaternary Karst Processes in the Karst of N.W. Yugoslavia. INQUA 87, Programme with Abstracts, p. 176.
- Ivanovich, M. and Harmon, R.S. (Eds.), 1982: Uranium Series Disequilibrium : Application to Environmental Problems. Oxford University Press. 571 pages.
- Ku, T.L., 1976: The Uranium-series Methods of age determination. Annual Review of Earth and Planetary Science Letters 4, pp. 347–379.
- Li, W.-X., Lundberg, J., Dickin, A.P., Ford, D.C., Schwarcz, H. P. and McNutt, R.H. and Williams, D., 1989: High precision mass spectrometric dating of speleothem and implications for paleoclimate studies. Nature, 339 (6225), pp. 534–536.

Schwarcz, H.P., 1980: Absolute age determinations of archaeological sites by uranium dating of travertines. *Archaeometry*, 22(1), pp. 3-24.

Z U SERIJO DOLOČENE STAROSTI PLASTI Z JAMSKIM MEDVEDOM IZ KRIŽNE JAME, SLOVENIJA

Povzetek

Zaradi nizke vsebnosti urana in visoke detritične in organske kontaminacije in možnega razpadanja urana so sedimenti jamskega medveda iz Križne jame zelo zapleteni za običajno analizo U z alfa spektrometrijo. Takšni sedimenti so običajno na arheoloških najdiščih ob jamskih vhodih ali na lehnjaku. Za tovrstne sedimente je Schwarcz (1980) predlagal izohrono datacijsko tehniko, če ponovljene analize zelo umazanih vzorcev dajejo dobro linearno povezanost razmerij, $^{230}\text{Th} : ^{232}\text{Th}$ v $^{232}\text{U} : ^{234}\text{Th}$ je naklon indikativen za pravo starost vzorca. Na sliki 2 je predstavljena izohrona slika za vse vzorce iz tabele 1. Dobro linearno razmerje je opazno. Naklon linije daje izohrono srednjo starost 150000 let BP za celotno zbirko.

Naše mnenje je, da stratigrafsko serijo podatkov, ki smo jih dobili iz kapnikov "April 1982" sprememo, kot je predstavljena na tabeli 1. Vzorec YUG4K predstavlja sigo v plast 2., vzorec JUG K2R pa sigo v plasti 4. Ali so bili vzorci narobe označeni, ali pa se je zgodila napaka pri vzorčevanju v jami.

Zaporedje podatkov in sedimentologija vzorčnih mesta nam dasta naslednje podatke:

1. Rast sige v plasti 2 se je končala okrog 146.000 BP s poplavo ali je bila prekrita s sedimenti, ki so vsebovali kosti in kostne delce jamskega medveda.
2. Trajanje odlaganja meljaste plasti 3 je bilo prekratko, da bi ga lahko določili z U datacijo. Mogoče je bila le ena, zelo velika poplava. Kratkost tega dogodka dodatno prispeva k težavam, kako ločiti sigo, ki se je odlagala pred in po njem.
3. Odlaganje sige v plasti 4 se je začelo na vrhu tega melja pred približno 146000 in se je nadaljevalo do 126000 BP. Končalo se je s hitrim odlaganjem melja s kostmi jamskega medveda = meljasta plast 5.
4. Odlaganje kalcita se je nadaljevalo v plasti 6, vendar je vanj stalno dotekal melj iz zraka ali vode in kontaminiral vzorec.
5. Vrh plasti (plast 6) je odrezan zaradi poplave. Mešani klastični sedimenti plasti 7 so se odlagali na presekanu površino po tem dogodku. Vzorci "April 1982" U serije predvidevajo približno starost 146000 let za plast 3, kar je podprto tudi z rezultati izohronega testa iz U serij JUG K1A Ponovitev, YZG K2A Ponovitev ("popravljen" starost) in KYU 4S dno. YUG K4 v sredini, KYU 2 dno in KYU 2H vzorci so dali sprejemljive rezultate, ki potrjujejo, da je sigo plasti 2 rasla, z enim ali dvema presledkoma, od 20.000 do 40.000 let pred odložitvijo plasti 3. Podatki o YUG K2R sredina in vrh nam pokažejo enak način odlaganja kalcita kot pri plasti 3.

Moje mnenje je, da so bile kosti jamskega medveda v plasti 3 ponovno odložene na tem zaščitenem mestu. Zato so lahko precej starejše od 146.000 ± 14.000 "najboljši podatek" iz YUG K2R dna.

Druga možnost je, da so prišle kosti v plast 3 iz plasti 5. Če je tako, potem bi bil jamski medved lahko mlajši od "najboljšega podatka" v plasti 4, ki je 126.000 ± 11.000 let. To vprašanje lahko razreši skrbna sedimentološka študija na licu mesta.

Mislím, da je bila v tem primeru prvič uporabljena $^{230}\text{Th} : ^{234}\text{U}$ metoda za reševanje problema stratigrafije jamskega medveda. Križna jama je zelo pomembno najdišče in v bodočnosti lahko računamo z dobrimi rezultati.

PRIME DATAZIONI ASSOLUTE SU
UNA STALAGMITE DEL CARSO
TRIESTINO

PRVE ABSOLUTNE DATACIJE STALAGMITA
S TRŽAŠKEGA KRASA

FRANCO CUCCHI - PAOLO FORTI

Abstract

UDC 551.442.4(450.361)

Cucchi, Franco, Forti, Paolo: The first absolute datation of a speleothem from Trieste Karst

On the Trieste Karst four absolute datations of calcite flowstone were done, all of them on the stalagmite from Grotta Gigante. The values (the first and the only till now on the Trieste Karst) were published recently in a work treating the datation results from different italian localities (Forti & Postpichl, 1987) and suggesting some connections with paleoseismic events. In the present work the radiometric data and speleothem morphology are analysed in the connection with the recent evolution of the Trieste Karst.

Key words: speleochronology, absolute datation, Karst of Trieste, Italy

Izvleček

UDK 551.442.4(450.361)

Cucchi, Franco, Forti, Paolo: Prve absolutne datacije stalagmita s Tržaškega Krasa

Štiri absolutne datacije sige so bile izvršene na Tržaškem Krasu, vse na stalagmitu iz Grotte Gigante (Velika jama v Briščikih). Rezultati (do sedaj prvi in edini s Tržaškega Krasa) so bili nedavno objavljeni v študiji, ki predstavlja rezultate datacije iz številnih italijanskih jam (Forti & Postpischl, 1987) in jih povezuje s seizmičnim delovanjem. V pričujočem delu so obravnavani radiometrični podatki in morfologija kapnikov v povezavi z mlažim razvojem Tržaškega Krasa.

Gljučne besede: speleokronologija, absolutna datacija, Tržaški Kras, Italija

Naslov - Address

Dr. Franco Cucchi

Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste

Piazza Europa 1

I - 34132 TRIESTE

Dr. Paolo Forti

Istituto Italiano di Speleologia

Via S.Vitale 27

I - 40125 BOLOGNA

PREMESSA*

Nel Carso triestino sono state eseguite quattro datazioni assolute di concrezioni calcaree, tutte su una unica stalagmite raccolta nella Grotta Gigante. I valori (i primi ed unici finora ottenuti nel Carso triestino) sono stati pubblicati recentemente in un lavoro che confrontava i risultati della datazione di alcuni speleotemi provenienti da diverse località italiane (Forti, Postpischl, 1987) e proponeva alcuni collegamenti ad eventi paleosismici.

Nel presente lavoro si analizzano i dati radiometrici e morfologici della stalagmite, inserendoli nel quadro, invero non compiutamente definito, dell'evoluzione recente del Carso triestino.

La stalagmite studiata è stata raccolta sul fondo della grande cavità triestina, in un tratto in cui sono presenti numerose concrezioni crollate (~1). Non sono note le cause del suo ribaltamento, tuttavia la stalagmite fa parte di una famiglia di concrezioni bianche, esteriormente a stretta "palma", molte delle quali ancora in piedi anche se non più attive. Frammenti di stalagmiti simili si trovano anche frequentemente nei depositi elastici della cavità.

La stalagmite è stata sezionata lungo un piano che contiene in massima parte l'asse di accrescimento verticale.

Da una delle due metà sono stati prelevati, in posizione morfologicamente significative, quattro campioni che sono stati sottoposti ad analisi presso la Faculté Polytechnique de Mons, mediante il metodo U/Th (~2).

CONSIDERAZIONI MORFOLOGICHE SULLA STALAGMITE

Lo speleotema analizzato è alto 140 cm e ha una larghezza alla base di 30 cm, valore che rimane pressochè costante per tre quarti dell'altezza; quindi presenta una rastremazione che procede costante sino alla sua sommità.

La sezione lucida evidenzia una struttura ben definita a bande di accrescimento con veli calcitici normalmente submillimetrici che in alcuni casi divengono estremamente ridotti e in altri sono costituiti da cristalli anche millimetrici.

In molte zone sono presenti aree caratterizzate da una struttura spugnosa con vacui di

* Ricerca eseguita nell'ambito dell'Unità "Carsologia" del Gruppo Nazionale CNR Geografia fisica e Geomorfologia

*1 Ringraziamo gli speleologi della Commissione Grotte "E. Boegan" per aver modificato in positivo, e di 103 metri, la quota della concrezione.

*2 Ringraziamo l'amico e collega Yves Quinif per la disponibilità e la rapidità nell'esecuzione delle misure di datazione.

dimensione millimetrica o anche superiore: queste strutture interne sono di norma presenti essenzialmente lungo l'asse di accrescimento della stalagmite, ma si sviluppano anche nelle aree di espansione a palma. Degno di nota il fatto che gli episodi di accrescimento cristallino millimetrico e di porosità intercrystalline sono numerosi specie verso l'alto.

Il cromatismo ha notevole monotonia, con colore bianco o bianco-rosato e rari sono gli episodi, sempre a potenza submillimetrica, di colore beige o marrone. Fra questi ultimi il più evidente è posizionato circa a 52 cm dalla base (tratto ad età di circa 20.300 y B.P., vedi paragrafo successivo).

L'orientazione dell'asse di accrescimento, pur evidenziando alcuni episodi di brusca variazione, nel complesso è abbastanza costante dalla base alla sommità: mediamente discostandosi dalla verticalità al massimo di 15°, tranne in un caso.

E comunque impossibile collegare queste variazioni di inclinazione, trattandosi di un caso unico e di una stalagmite raccolta già crollata, a quelle analizzate statisticamente in tutta la grotta (Cucchi et al., 1985), tuttavia lacune di esse potrebbero essere collegate a movimenti tettonici recenti.

Dal punto di vista morfologico la concrezione può essere suddivisa in tre tratti o sezioni:

1 – dalla base a 57 cm:

Si tratta di una concrezione a bande di accrescimento mediamente submillimetriche fini, a cristalli generalmente molto minuti, caratteristiche queste normalmente collegabili ad ambienti di bassa sovrassaturazione e quindi di lenta crescita verticale. Cromaticamente questa parte della stalagmite è molto bianca, latte e differisce nettamente da tutto il resto della concrezione che ha una tonalità più rosata.

La morfologia "esterna" di questa porzione di stalagmite è caratterizzata da una banda di accrescimento di spessore millimetrico di colore marron chiaro che marca una frastagliatura centimetrica paragonabile a quella presente nella parte apicale della stalagmite stessa.

Il diametro si mantiene costante attorno a valori di 13 cm sino ai 35 cm e quindi subisce una lieve rastremazione, probabilmente da imputarsi al fatto che ancora in quel tratto la stalagmite non aveva raggiunto uno "stato stazionario" di crescita.

In corrispondenza della variazione cromatica apicale iniziano a manifestarsi le prime decise variazioni nell'inclinazione dell'asse di accrescimento.

2 – da 57 cm a 112 cm dalla base:

Il secondo tratto, partendo dalla sommità del precedente, si sviluppa per ulteriori 55 cm in altezza, ma va rimarcato che lo stesso ricopre lateralmente il nucleo precedente trasformando il diametro medio da 13 cm a 26 cm, valore che rimane sufficientemente costante sino a 95 cm dalla base, ove si nota una rastremazione che può esser imputata alle medesime cause che hanno originato quella della prima sezione. Per tutto lo sviluppo di questa porzione la struttura esterna è quella tipica a palma con rientranze di anche 5 cm.

Le bande di accrescimento sono qui mediamente più spesse, i cristalli ove presenti meno

minuti e pur nella monotonia cromatica bianco-rosa di fondo si notano numerose variabilità, probabilmente collegabili ad una crescita verticale più rapida di quella caratterizzante la porzione precedente.

Anche questo tratto termina morfologicamente con una banda millimetrica marrone che borda quasi tutto lo speleotema e che marca un intervallo in cui l'asse di accrescimento varia rapidamente inclinazione, che in questa punto mostra la sua massima anomalia.

3 – da 112 cm dalla base all'apice:

Corrisponde agli ultimi 26 centimetri dello speleotema ed è a sezione conica, con bande di accrescimento millimetriche ricche di porosità intracristalline e quindi molto simili, anche cromaticamente, a quelle del secondo tratto. Lungo i lati sono presenti rastremazioni centimetriche, molto minori di quelle della sezione 2 e paragonabili invece a quelle della sezione 1.

In Fig. 1 sono schematicamente riportate tutte le caratteristiche morfologiche salienti della stalagmite sin qui evidenziate.

DATAZIONI RADIOMETRICHE

Come accennato precedentemente sono stati datati quattro momenti della crescita e precisamente la base, a 50, 100 e 140 cm circa: le zone ove effettuare i campionamenti sono state scelte sempre in corrispondenza dei principali eventi morfologici: l'inizio del concrezionamento sul pavimento, una brusca variazione di inclinazione dell'asse di accrescimento, una decisa modificazione del ritmo di accrescimento, la fine dell'accrescimento (Fig. 1).

I risultati ottenuti col metodo del U/Th sono riportati nella tabella seguente 3*

TABELLA 1:

Tabella dei risultati isotopici e dell'età della stalagmite

N.	U(pp.m.)	U234/U238	Th230/U234	Th230/Th232	U234/U238t=0	Età	(ky B.P.)
1	0.131+/-0.005	0.925+/-0.054	0.391+/-0.056	11	0.913	54.3	(+11.2, -9.9)
2	0.152+/-0.005	1.109+/-0.050	0.171+/-0.023	701	1.115	20.3	(+ 3.1, -2.9)
3	0.144+/-0.026	1.040+/-0.026	0.167+/-0.059	10	1.042	19.8	(+ 8.0, -7.5)
4	0.133+/-0.003	1.108+/-0.031	0.031+/-0.018	11	1.082	15.2	(+ 2.2, -2.2)

*3 La tabella indica il tenore in uranio in parti per milione (ppm), il rapporto isotopico U234/U238, il rapporto isotopico Th230/U234, il rapporto isotopico Th230/Th232, il rapporto isotopico iniziale U234/U238 con t=0, e l'età del deposito espressa in milioni di anni B.P. In parentesi sono indicati gli errori in positivo ed in negativo dovuti al computo statistico. Bisogna insistere sul carattere statistico delle misure: l'età indicata nei limiti dell'errore è probabile al 67%.

Il rapporto isotopico Th230/Th232 esprime la relazione fra il torio 230 radiogenico, che proviene dall'uranio 234, e il torio 232 detto "detrítico", che è a capo di una famiglia radioattiva. Il termine "de-

Se il campione N.2 è l'unico che offre tutte le garanzie di una datazione sicura (dato l'alto valore del rapporto $\text{Th230}/\text{Th232}$), va riconosciuta la coerenza temporale degli altri risultati, ottenuti da campioni su cui la sequenza sedimentaria era stata volutamente omessa, all'atto delle analisi radiometriche.

DISCUSSIONE

Sulla base delle osservazioni sperimentali si è tentato di risalire alla velocità di accrescimento verticale durante lo sviluppo dello speleotema analizzato.

Tale velocità risulta essere estremamente variabile: assumendo infatti per reali i valori di età radiometrica relativi ai tre intervalli considerati (54.3 – 20.3 Ky, 20.3 – 19.8 Ky, 19.8 –

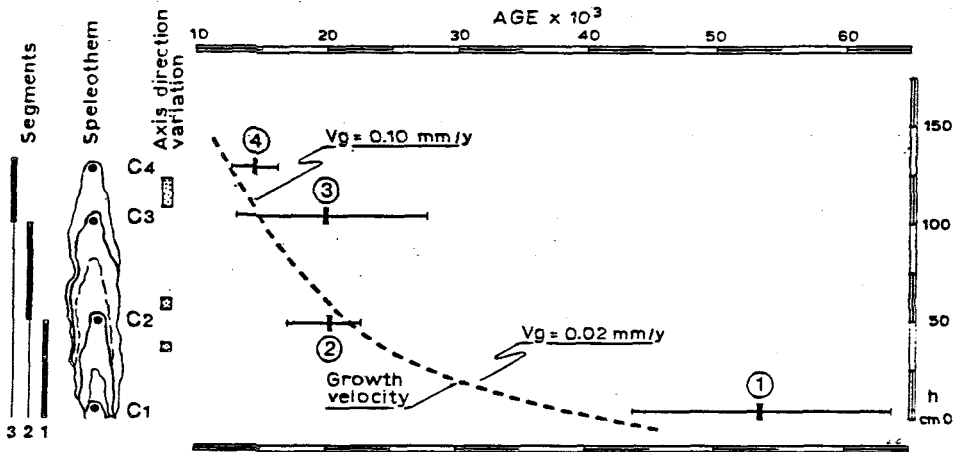


Fig.2 Diagramma indicativo della velocità di accrescimento. In ordinata l'altezza, in ascissa l'età; si sono segnalati gli intervalli temporali da datazione radiometrica, i tratti interessati da variazioni di inclinazione dell'asse di massimo accrescimento verticale, la curva di accrescimento proposta, e si è riportata schematicamente la morfologia dello speleotema.

Sl.2 Diagram hitrosti rasti. Na ordinati je višina, na abscisi starost; označeni so časovni intervali radiometrične datacije, deli, pomembni za spremembo naklona osi pri največji navpični rasti, predvidena krivulja rasti in shematsko prikazana morfologija kapnika.

trítico" deriva dal fatto che, per la sua insolubilità, il torio può transitare anche assorbito su particelle argillose. Per soddisfare alle condizioni di datazione, questo Th232 dovrebbe essere assente in quanto è legato a delle impurità insolubili che possono anch'esse liberare del Th230 parassita, proveniente tanto dall'uranio legato a questi insolubili quanto dall'uranio del carbonato antecedente al trasporto. In pratica, si stima che un rapporto $\text{Th230}/\text{Th232}$ superiore a 20 è necessario per essere sicuri del fatto che l'effetto perturbante è trascurabile.

15.2 Ky), si ottengono valori di $550:34.000 = 0.02$ mm/y, $480:1.000 = 0.48$ mm/y, $380:4.000 = 0.095$ mm/y, con un valore medio di $1.400:39.100 = 0.036$ mm/y (Fig. 2).

Anche tracciando una curva di accrescimento più "morbida" sulla base dell'estensione temporale dovuta agli errori sperimentali, risulta comunque evidente un incremento nella velocità di accrescimento verificatosi circa 20.000 y B.P., col passaggio da un ritmo di 50 cm in 20.000 anni ad uno di 90 cm in 10.000 (da 0.025 mm/y a 0.090 mm/y).

Si tratta di valori ridotti che però possono esser compatibili con l'evoluzione climatica, dato che è ormai assodato che l'accrescimento degli speleotemi a ritmi legati alle caratteristiche climatiche esterne (Cazzoli et al., 1988).

E' indubbiamente strano l'alto indice di accrescimento nel periodo intorno a 20.000 anni fa. Anche se sono numerosi i livelli di accrescimento dati da cristalli millimetrici e meno frequenti quelli submillimetrici e se la maggioranza degli episodi ad alta porosità è concentrata verso l'alto.

Tenendo presente che la misura radiometrica del campione 2 è quella più significativa, resta il problema di giustificare un forte aumento della velocità di accrescimento verticale in un periodo decisamente freddo.

Infatti dalle varie curve termiche ricavate negli ultimi anni (Vergnaud-Grazzini, 1973; Vergnaud-Grazzini et al., 1988; Marocco et al., in press) risultano con una certa costanza valori bassi della temperatura media negli anni fino a 14.000/12.000 y B.P., quando al lungo periodo glaciale iniziò a subentrare il postglaciale. Pulsazioni termiche positive risultano comunque essersi verificate 32.000, 19.000 e 14.000 anni fa circa, ma sembrano di limitata durata.

Il Carso triestino 20.000 anni fa aveva un aspetto non molto dissimile all'attuale dal punto di vista morfologico; infatti oltre al dato indiretto legato ai ritrovamenti preistorici che datano sedimenti sicuramente più antichi della concrezione studiata, va ricordato che con un ritmo dissolutivo di circa 0.03 mm anno (Cucchi et al., 1988) la superficie si è abbassata mediamente di soli 6 metri.

Non si può ipotizzare pertanto un corso d'acqua glaciale con acque ricche in carbonato da corrosione glaciale e periglaciale e scorrente sui calcari.

L'unica ipotesi che può esser ragionevolmente fatta è che le acque concrezionanti di provenienza meteorica ad infiltrazione rapida da quel momento abbiano iniziato ad arricchirsi in carbonato di calcio, aumetando così progressivamente il loro potere concrezionante.

Questo ben corrisponderebbe ad un passaggio di carso scoperto a carso coperto, con il relativo brusco aumento nella pressione parziale di CO_2 nelle acque di infiltrazione.

Questa ipotesi può trovare conforto nel fatto che la dimensione radiale della stalagmite bruscamente aumenta esattamente in corrispondenza di questo periodo, indicando con chiarezza un notevole incremento dell'apporto idrico che potrebbe essere correlato a un innalzamento pregressivo, ancorchè piccolo, della temperatura media esterna, aumento questo che potrebbe anche giustificare l'instaurarsi della copertura del carso.

L'aumento di apporto idrico sulla concrezione probabilmente non si è verificato solamente con un innalzamento della frequenza di gocciolamento lungo l'asse di accrescimento, ma

anche con la comparsa di nuove gocce con punti di caduta variabili attorno a quello principale, come indicano le porosità intracristalline presenti al di fuori dell'asse della stalagmite.

Comunque da questo momento sino al termine della seconda sezione (circa 15.000 y B.P.) l'apporto idrico sembra essersi mantenuto costante, mentre dopo di allora è evidente una progressiva diminuzione dell'entità di gocciolamento sulla concrezione.

In conclusione quindi, le caratteristiche morfologiche assieme ai dati radiometrici suggeriscono di ipotizzare all'epoca un episodio (anche concentrato in pochi anni a cavallo dei 20.000 – 18.000 y B.P.) di clima a condizioni idrologico-climatiche temperate, tali da mutare sensibilmente la "facies carsogenetica" legata nel nostro caso solamente alle precipitazioni.

Anche se vi è una tendenza da parte di alcuni ricercatori, ad ipotizzare in tempi recenti pur se non ben definiti, il completo riempimento clastico fine delle cavità del Carso triestino (col che si potrebbero ipotizzare anche scorrimenti idrici superficiali con concentrazione del concrezionamento in pochi inghiottitoi attivi) la stalagmite analizzata si è formata in condizioni aeree, condizioni perdurate da circa 50.000 y B.P. almeno fino al crollo, avvenuto 15.000/12.000 anni fa.

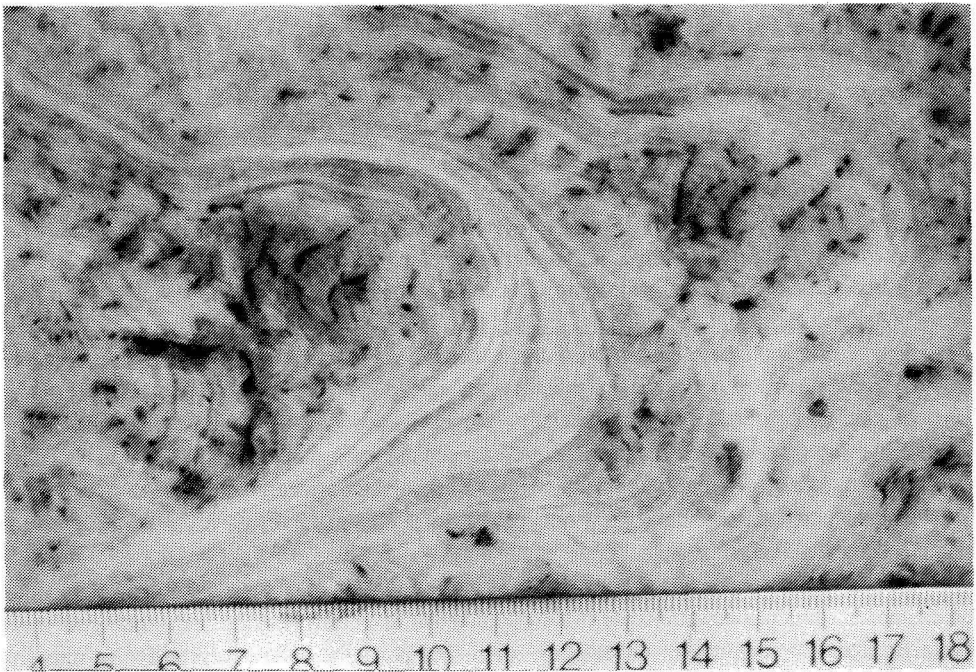


Fig.3 Bande di accrescimento, variazioni di verticalità nell'asse di accrescimento a circa 111 cm dalla base, in corrispondenza della fine del 2° tratto e del campione 3 (età 19.800 y B.P.)

Sl.3 Pasovi rasti, spremembe v navpičnosti osi približno 111 cm od osnove v skladu s koncem 2. dela vzorca 3 (starost 19.800 let B.P.)

Anche alcune deviazioni dell'accrescimento dalla verticale, o meglio dalla direzione di massimo accrescimento, sono interessanti pur se non esattamente inquadrabili nel tempo a causa della rada maglia radiometrica e degli errori sperimentali.

Esse si verificano con particolare evidenza a 35 cm, 55 cm dalla base e nel tratto da 110 cm a 125 cm. A queste altezze sembrano corrispondere età rispettivamente di 25.000, 20.000, 15.000 - 12.000 y B.P. Tuttavia solamente intorno a 20.000 anni fa risulta, con sufficiente certezza, essersi verificata una crisi sismica nell'area di Postumia e San Canziano (Gospodarič, 1980). Per cui non è improbabile che almeno alcuni degli episodi siano collegati a spostamento del punto di gocciolio dalla volta o a movimenti di adattamento del pavimento, costituito da crolli, sedimenti fluitati e concrezioni, come sembrano indicare la presenza, anche fuori dalla verticale, di zone porose e la morfologia di alcune bande di accrescimento.

In alcuni casi però, come per esempio a livello dei 20.000 e del 15.000 y B.P., le perturbazioni dell'asse di accrescimento sono concomitanti a variazioni nel chimismo e nel cromatismo delle bande di accrescimento e questo è stato recentemente indicato come una evidenza di eventi sismici (Forti, Postpischl, 1989).

CONSIDERAZIONI FINALI

Come detto in premessa, i dati relativi a datazioni assolute o comunque inseribili con esattezza nel quadro evolutivo del Carso triestino sono estremamente scarsi. Come labili, perchè non suffragate da esperienze dirette, sono le correlazioni con gli eventi e le successioni di eventi verificatisi nelle regioni contermini.

Nonostante tutto, però le informazioni desunte dallo studio morfologico e radiometrico della concrezione della Grotta Gigante hanno permesso di proporre alcune prime ipotesi sull'evoluzione climatica e ambientale dell'area nel periodo tra 50.000 e 12.000 y B.P.

E' quindi nostro intento da un lato eseguire un numero di datazioni sufficiente a meglio chiarire l'evoluzione temporale degli speleotemi del Carso triestino, dall'altro iniziare a correlare queste risultanze con le sequenze temporali delle aree circostanti, con particolare riguardo a due aree interessanti da una notevole attività sismica e quindi di tettonica recente: l'area di Postumia e quella friulana. D' altronde di punto di vista speleogenetico solamente la prima è ben nota, studiata, ricca di dati e palestra di esperienze. Sarà quindi nostra cura anche avviare un ciclo di studi sugli speleotemi e sulla speleogenesi dell'area ad Est di Udine.

In particolare sul Carso triestino sono note più generazioni di concrezioni, ma non sono assolutamente noti, tranne che per via indiretta o speculativa i loro rapporti, i momenti significativi di un'evoluzione carsicogenica estremamente antica ed articolata. E l'inserimento degli eventi paleospeleogenetici nel quadro evolutivo del Quaternario è il nostro obiettivo futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Cazzoli, M.A., Forti, P., Bettazzi, L., 1988: L'accrescimento di alabastri calcarei in grotte gessose: nuovi dati dall'inghiottitoio dell'Acquafredda (3/ER/BO). *Sottoterra*, n.80, 16-23

- Cucchi, F., Forti, F., Forti, P., 1985: Movimenti recenti da analisi di concrezioni. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 6(1983), 43-47
- Cucchi, F., Forti, F., Finocchiaro, F., 1987: Carbonate surface solution in the Classical Karst. *Int.J. Speleol.*, 16 (1987), 69-78
- Forti, P., Postpischl, D., 1987: Datazione radiometrica di eventi paleosismici. *Studi e ricerche (a cura di M.Unguendoli)*, 295-310, CUSL, Bologna
- Forti, P., Postpischl, D. (in press): Studio di eventi paleosismici da strutture carsiche. *Tectonophysics*, in press
- Gospodarič, R., 1981: Sinter generations in Classical Karst of Slovenia. *Acta carsologica*, 9/3 (1980), 87-110, Ljubljana
- Marocco, R., Pirini-Radrizzani, C., Princivalle, F., Testa, S., Vergnaud-Grazzini, C. (in press): Pleo-climatic record for the past 3000 years in Ligurian Sea
- Motoji, I., Toshikatsu, M., Gospodarič, R., 1983: ESR Dating of Postojna Cave stalactites. *Acta carsologica*, 11 (1982), 117-130, Ljubljana
- Vergnaud-Grazzini, C., 1973: Etude écologique et isotopique de foraminifère actuels et fossiles de Méditerranée. *Thèse Doct. Sci. Nat. Un. Paris*, VI, 181 pp.
- Vergnaud-Grazzini, C., Borsetti, A.M., Cati, F., Colantoni, P., D'Onofrio, S., Saliege, J.F., Sartori, R., Tampieri, R., 1988: Paleooceanographic record of the last deglaciation in the Strait of Sicily. *Marine Micropaleontology*, 13, 1-21

PRVE ABSOLUTNE DATACIJE STALAGMITA S TRŽAŠKEGA KRASA

Povzetek

Do sedaj so bile izvedene na Tržaškem Krasu štiri absolutne datacije in sicer stalagmita iz Grotte Gigante: v pričujočem delu so analizirani radiometrični in morfološki podatki tega stalagmita, ki ga postavljajo v še ne popolnoma določen okvir recentnega razvoja Tržaškega Krasa.

Z morfološkega stališča lahko sigo razdelimo na tri dele, ki se skladajo s tremi obdobji odlaganja sige v različnih hidroloških pogojih. Za datacijo je bil kapnik razdeljen na štiri kose, in sicer baza, 50, 100 in približno 140 cm v skladu z glavnimi morfološkimi dogajanjem: začetek odlaganja sige na tleh, nenadna sprememba naklona osi ob rasti, opazna sprememba hitrosti odlaganja in konec rasti (sl. 1 in sl.2). Dobljeni rezultati (Tabela 1) so v glavnem naslednji: vzorec 1 starost **54.3** (+ 11.2, - 9.9) milijona let BP, vzorec 2 **20.3** (+ 3.1, - 2.9), vzorec 3 **19.8** (+ 8.0, - 7.5), vzorec 4 **15.2** (+ 2.2, - 2.2).

Na tej osnovi smo poskušali določiti hitrost navpične rasti sige in dobili različne vrednosti od 0.02 mm/leto do 0.48 mm/leto (sl.2). Visok indeks rasti v obdobju okrog 20.000 let BP verjetno označuje čas prehoda golega krasa v pokriti kras, z relativno nenadnim porastom parcialnega pritiska CO₂ v preniklih vodah, kar potrjujejo tudi morfološke značilnosti obenem z radiometričnimi podatki. Tako lahko predvidimo obdobje (koncentrirano v nekaj letih v razponu od 20.000 - 18. 000 BP) klime v zmernih hidrološko-klimatskih pogojih, ko se je občutno spremenil "karstogenetski facies", ki je v našem primeru povezan zlasti s padavinami.

Nekatera odstopanja rasti od vertikale so zlasti opazna na razdalji 35 cm, 55 cm od osnove in v delu 110 cm do 125 cm. Te višine približno ustrezajo starosti 25.000, 20.000 in 15. 000-12.000 let BP in torej lahko te pojave pripišemo seizmičnemu delovanju, kar potrjujejo tudi dogajanja na področju Postojne in Škocjanskih jam pred 20.000 leti, oziroma premik točk s prenikajočo vodo s stropa ali prilaganje tal.

**I GRANDI CROLLI NELLE GROTT
DEL CARSO TRIESTINO
- considerazioni e ipotesi**

**VELIKI PODORI V JAMAH TRŽAŠKEGA KRASA
- ugotovitve in hipoteze**

FABIO FORTI

Izvleček

UDK 551.442(450.361)

Forti, Fabio: Veliki podori v jamah Tržaškega Krasa - ugotovitve in hipoteze

Predstavljeni so primeri podorov in podrtih kapnikov v nekaterih jamah Tržaškega Krasa. Končne raziskave kažejo, da so nedvomno posledica intenzivnega seizmičnega delovanja, ki je v grobem datirano v post Würm III, po tem obdobju pa niso bili opaženi podobno intenzivni pojavi. Ker so imeli podori in podiranje kapnikov nedvomno različne razloge (posedanje glinastih tal) jih je težko ovrednotiti. Predvidevamo, da postopno odnašanje glinastih sedimentov lahko upoštevamo kot predispozicijo za podiranje, zadnji razlog pa je bila močna seizmična aktivnost.

Ključne besede: speleologija, jamski podori, Tržaški Kras, Italija

Abstract

UDC 551.442(450.361)

Forti, Fabio: Big Collapses in the Caves of Trieste Karst

The examples of collapses and collapsed speleothems in some caves of Trieste Karst are presented. The last researches evidence that they are due to intensive seismic activity, generally dated to Post Würm III and after this period similiary intensive phenomena were not noticed. Without doubt the reasons for sinkholes and collapsed speleothems are different (subsidence of clayey floor) therefore they are difficult to be evaluated. We anticipate that gradual removing of clayey sediments could be taken as the predisposition for collapse, but the most important reason was stron seismic activity.

Key words: speleology, collapse, Karst of Trieste, Italy

Naslov - Address

Fabio Forti

Presidente Commissione Grotte "E.Boegan", Società Alpina delle
Giulie, Sez. C.A.I.

Via N.Macchiavelli, 17, I - 34132 Trieste

PREMESSA

Ebbi numerose occasioni di discutere con il compianto Rado Gospodarič in merito ai problemi carsici di comune interesse. In particolare parlavamo di questioni relative ai depositi di riempimento delle grotte, alle fasi alterne di accumulo e svuotamento di depositi sabbioso-argillosi, dei riempimenti "fissi" (crolli) e di modificazioni dei depositi di concrezione calcitica, determinante da fattori climatici e sulle cause del rovesciamento delle colonne stalagmitiche e dei distachi di cieli stalattitici e di concrezioni parietali.

Ricordo che una decina d'anni fa l'amico Gospodarič mi accompagnò più volte nel braccio laterale delle Grotte di Postumia, chiamato "Pisani rov". In quelle visite studiavamo le ragioni delle modificazioni strutturali, di distacco, di crollo delle concrezioni calcitiche. Mi comunicò i risultati di alcune radiodatazioni eseguite sulle neostalagmiti formatesi dopo una fase di crollo. Ma ciò che ambedue ci turbava, era la difficoltà di interpretare le cause del rovesciamento delle grandi concrezioni calcitiche. Il problema stava principalmente nella verifica delle cause più probabili: cedimento del substrato argilloso-sabbioso e quindi possibilità di rovesciamento delle concrezioni stalagmitiche, oppure per spezzamento alla base dovuto ad intense cause sismiche. Ricordo che in quell'occasione Gospodarič mi pregò di fare alcune verifiche nelle grotte del Carso Triestino per cercare di avere maggiori conoscenze sul problema. In tutti questi anni ho fatto molte osservazioni sui fenomeni di crollo ed i risultati ottenuti li dedico con il presente lavoro alla memoria dell'amico Rado Gospodarič.

CONSIDERAZIONI GENERALI

In una serie di pubblicazioni: Forti, F. (1977); Cucchi, F., Forti, F., Semeraro, R. (1979); Cucchi, F., Forti, F. (1979); Cucchi, F., Forti, F., Forti, P. (1982); venivano prese in considerazione alcune modificazioni strutturali avvenute nelle grotte del Carso Triestino a causa di movimenti neotettonici, il tutto proiettato a supporto della "Carta neotettonica d'Italia". Tale lavoro illustra sinteticamente il comportamento dinamico della superficie terrestre dal Pliocene in poi con particolare riguardo alle ultime centinaia di migliaia di anni. L'individuazione del movimento orizzontali e/ o verticali avviene interpretando tutti gli "indizi di neotettonica" morfologici, geologici (strutturali, stratigrafici ecc.) e talora quelli ottenibili dallo studio morfotettonico dei fenomeni carsici. Il risultato di tali ricerche indica un generale debole sollevamento dell'area del Carso Triestino con una netta tendenza ad un sollevamento maggiore a S e minore verso N, il che significa un graduale innalzamento del finaco sudoccidentale dell'anticlinale in corrispondenza della faglia inversa che corre con direzione SE-NW.

I grandi fenomeni di crollo, sempre nella campo della datazione degli avvenimenti tettonici, da una stima delle concrezioni formatesi sui blocchi di frana porta a considerare che alcuni eventi siano preglaciali Würm III ed altri siano databili 10.000 - 15.000 anni fa.

CROLLO DI BANCHI ROCCIOSI

E' frequente nell'ambito delle grotte a galleria del Carso Triestino rinvenire fenomeni di crollo di tratti di volte o distacchi di grandi blocchi rocciosi dalle pareti delle gallerie stesse. Questi crolli, genericamente definibili come corpi rocciosi staccatisi da volte e pareti per cause dinamiche, risultano caduti su precedenti e quindi più antichi depositi di riempimento sia di tipo concrezionario, sia su frane. I blocchi rocciosi di più recente evento di distacco sono ricoperti a loro volta da depositi concrezionari stalagmitici, le cui altezze variano da pochi decimetri ad alcuni metri. Da tutte le visite effettuate in numerose grotte a galleria non risulta che successivamente a questa fase di crollo ce ne siano state altre, per lo meno della stessa entità. Da una stima approssimata su quest'ultima fase di crollo, che risulta più o meno penecontemporanea in tutte le cavità analizzate, è databile tra i 10.000 ed i 15.000 anni fa.

Tali fenomeni aventi quasi le medesime caratteristiche strutturali, sono stati studiati in particolare alla Grotta Gigante (N° 2 VG) ed alla Grotta delle Torri di Slivia (N° 39 VG). In ambedue le cavità si osservano dei blocchi rocciosi del volume di una decina di metricubi ciascuno che si sono staccati dalle rispettive pareti secondo piani di discontinuità determinati da piani di stratificazione e da sistemi di fessurazione. Alcuni di tali blocchi sono stati poi successivamente mobilizzati nel senso che si sono rovesciati due o tre volte per cedimento del substrato di appoggio. Tale fenomeno è verificabile con l'osservazione dell'anomala crescita di stalagmiti variamente inclinate sul blocco stesso. E' evidente che sono cresciute in tempi diversi e che il diverso assetto del masso franato è avvenuto di scatto e non gradualmente.

Risulta molto difficile valutare i motivi di tali distacchi improvvisi di blocchi rocciosi dalle pareti e dalle volte senza invocare una causa scatenante esterna al sistema carsico. In pratica si osserva che i blocchi ed i massi caduti presentano delle evidenti nicchie di distacco secondo ben precisi piani di discontinuità, talvolta allargati da azioni dissolutive carsiche. Ma ciò che più colpisce è la contemporaneità dei fenomeni di distacco in tutte le grotte osservate. Se ne deduce che fatta salva una predisposizione meccanica e chimica, vi è stata una motivazione sismica di una certa intensità a determinare la causa scatenante del crollo stesso.

Parallele osservazioni compiute sulle Dolomiti (Gruppi del Sella, Tofane, Conturines) e nelle Alpi Carniche e Giulie in generale, hanno evidenziato la costante presenza di enormi torrioni dolomitici rovesciati sui fianchi delle montagne o in fondo alle valli che dividono i vari gruppi montuosi. Anche qui si può notare una certa contemporaneità dei fenomeni di crollo, ma più interessante è osservare che i torrioni sono caduti su preesistenti depositi morenici e talora su depositi fluvio-glaciali. Ciò indicherebbe una contemporaneità fenomenologica tra i crolli delle torri dolomitiche ed i crolli nelle cavità del Carso, ambedue sicuramente postglaciali Würm III.

CROLLI E DEFORMAZIONI DI CONCREZIONI CALCITICHE

Più complesso ed assai più articolato è il problema relativo ai crolli, distacchi, dislocazioni, rovesciamento delle concrezioni calcitiche, fenomeni questi rinvenibili in tutte le grotte a

galleria del Carso Triestino. La stranezza dei fenomeni osservati sta nel fatto che accanto a enormi colonne stalagmitiche rovesciate e spazzate in più parti al suolo, ve ne sono altre intatte o quasi, salvo la presenza di qualche fessura ricementata. Ciò fa pensare, per alcune, alla possibilità di cedimenti del substrato di appoggio delle stalagmiti e quindi alla probabilità di un locale rovesciamento della concrezione stessa. E' noto che in tutte le grotte a galleria del Carso e nelle doline, i depositi di riempimento "mobili", sono in netta fase di assorbimento o di svuotamento.

D'altra parte al suolo si osservano pezzi di centinaia di stalattiti che sono cadute non in tempi diversi, ma di scatto in un'unica soluzione temporale. Altre volte si assiste alla caduta di enormi colonne stalagmitiche, nettamente staccatesi dalla volta ed il cui substrato di appoggio al suolo non presenta cedimenti di sorta.

La grotta che mostra un vero e proprio caos di stalagmiti rovesciati è la Grotta dell'Orso (N° 7 VG). Nella sua parte terminale vi è un ammasso di grandi colonne stalagmitiche rovesciate e spezzate su crostoni di concrezione. Qui però si ritiene di intravedere una ragione di crollo a duplice effetto. La grotta contiene un grande deposito di materiali argillosi e le grandi concrezioni calcitiche appoggiavano su tali depositi. La causa scatenante dei crolli in questo caso deve essere stata certamente sismica, perchè non si notano effetti di dislocazioni dovuti a cedimenti, ma solamente crolli improvvisi con netti distacchi delle colonne stalagmitiche dalle volte e successivo rovesciamento e spezzamento in blocchi al suolo.

E' noto che l'intensità sismica varia in funzione della diversità litologica del substrato su cui è appoggiata una costruzione e nel caso presente le concrezioni calcitiche. Assumendo 0 (zero) per i graniti, l'incremento dell'intensità sismica, secondo alcuni Autori, arriva a 0,2 - 0,5 per i calcari, mentre per le argille arriva a 1,2 - 2,1. Ciò significa che se le colonne stalagmitiche si trovano su crostoni calcitici che a loro volta appoggiano su di un substrato argilloso, l'intensità dell'effetto sismico aumenta da 1,2 a 2,1 volte. E' quindi così possibile che in queste condizioni avvengano i crolli più rovinosi.

CONCLUSIONI

Sono stati citati casi di crollo e di rovesciamento di masse rocciose e di concrezioni calcitiche di alcune grotte a galleria del Carso Triestino. Analoghi fenomeni sono stati registrati anche in tutte le altre cavità, senza eccezioni. Dal risultato di tutte le osservazioni compiute è indubbio che i grandi crolli rocciosi e concrezionari sono avvenuti per un'intensa causa sismica, databile grosso modo post Würm III e che successivamente a tale evento non si osservano altri fenomeni di crollo aventi pari intensità. La concomitanza dei crolli e rovesciamento di stalagmiti, avvenuti nello stesso periodo ma per cause diverse (cedimento del substrato argilloso) è difficilmente valutabile. Si ritiene probabile che il progressivo svuotamento dei depositi argillosi sia da considerare come una predisposizione al crollo e rovesciamento, ma che la causa scatenante sia sismica di grande intensità.

Ovunque è stata osservata la presenza di precedenti crolli ma la sovrapposizione dei

fenomeni rende assai difficile sia l'interpretazione delle cause sia le morfologie dei crolli stessi. I confronti con i crolli delle torri dolomitiche penecontemporanei ai crolli avvenuti nelle grotte fa pensare ad un evento sismico di intensità submassima e massima scatenatosi nell'arco delle Alpi Orientali e Dinariche in un periodo postglaciale Würm III.

BIBLIOGRAFIA

- Carulli, G.B., Carobene, L., Cavallin, A., Martinis, B., Onofri, R., 1980: Rvoluzione strutturale Plio-quaternaria del Friuli e della Venezia Giulia. Contrib. prelim. realizz. Carta Neotettonica d'Italia; Pubbl. 356 del Prog. Finalizz. Geodinamica, Unità Operat. 6.2.10, 489-545, Napoli
- Cucchi, F., Forti, F., 1979: Lo studio di attività tettonica recente in cavità carsiche a supporto della "Carta neotettonica d'Italia". Atti del 4.Conv.Reg.di Spel.del Friuli-VG, 243-248, Pordenone
- Cucchi, F., Forti, F., Forti, P., 1982: Movimenti neotettonici recenti nel Carso Triestino da analisi di concrezioni stalagmitiche. Atti del 5.Conv.Reg.di Spel.del Friuli-VG, 141-151, Trieste
- Cucchi, F., Forti, F., Semeraro, R., 1979: Indizzi di neotettonica in cavità della Val Rosandra (Trieste). CNR - Prog. Finalizz. Geodinamica - Sottoprog. Neotettonica; Pubbl. 250, Atti e memorie della Comm.Grotte "E.Boegan", Vol.19 (1978), 105-109, Trieste
- Finetti, L., 1967: Ricerche sismiche a rifrazione sui supporti strutturali fra il Carso ed il Golfo di Trieste. Boll. Geof. Teor. e Appl., Vol. 9 (35), 214-224, Trieste
- Forti, F., 1977: Rapporti tra terremoti e carsismo nella Regione Friuli - Venezia Giulia. Atti 4. Conv. Speleol. Trentino - Alto Adige, Arco
- Gospodarič, R., 1972: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi 14C. Naše jame, 13(1971), 91-98, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1977: Generacije sige v nekaterih kraških jamah Slovenije. Arhiv IZRK, 1-31, Postojna

VELIKI PODORI V JAMAH TRŽAŠKEGA KRASA

Povzetek

V spomin prijatelju in sodelavcu pri študiju in raziskavah v krasoslovju posvečam to delo o pojavu podorov v jamah in brezni Tržaškega Krasa.

Potem ko je niz študij in raziskav o neotektoniki pokazal, da je karbonatni del antiklinale na Krasu podvržen tendenci rahlega dviganja, bolj izrazitega na jugu in manj na severu, smo pričeli s študijem podorov in podiranjem kapnikov v nekaterih jamah z vodoravnimi rovi na Tržaškem Krasu. Iz številnih opazovanj sledi, da so premiki sten in včasih rogov z velikimi skalnimi bloki in podrti, včasih celo premaknjeni jamski stebri oziroma stropi s stalaktiti, rezultat intenzivnega seizmičnega delovanja.

Vzporedna opazovanja v Dolomitih so pokazala ob vznožju in v dolinah teh gora ogromne količine podornega materiala. Starost teh pojavov lahko pripišemo Würmu III, kajti ti veliki podori leže na morenskem in fluvio-glacialnem gradivu. Istemu obdobju lahko pripišemo velike podore v jamah na Krasu, predvsem zaradi pojava mlade sige, ki je zrastle na skalnih blokih in na podrtih stebrih.

Po tem pojavu seizmike, ki je z intenzivnostjo zaobjel celotne Vzhodne in Dinarske Alpe, nismo opazili podobnih podorov enake intenzivnosti. Sledi torej, da kažejo jame Tržaškega Krasa sledove prejšnjih, veliko starejših podorov, ki jih je težko razložiti in datirati.

**MODALITES ET CHRONOLOGIE DE
LA SEDIMENTATION SOUTERRAINE
EN BELGIQUE AU PLEISTOCENE
MOYEN ET SUPERIEUR**

**NAČINI IN KRONOLOGIJA PODZEMNE SEDIMENTACIJE
V BELGIJI V SREDNJEM IN ZGORNJEM PLEISTOCENU**

YVES QUINIF - BRUNO BASTIN

Résumé

UDK 551.442(493):551.791
551.791:551.442(493)

Quinif, Yves, Bastin, Bruno: Modalités et chronologie de la sédimentation souterraine en Belgique au Pleisocène moyen et supérieur

Les grottes belges renferment parfois des séquences sédimentaires épaisses et diversifiées, successions de dépôt détritiques, de spéléothèmes et de recreusements. Ces remplissages ont une origine essentiellement climatique. Les périodes glaciaires engendrent une grande quantité de sédiments détritiques qui arrivent à colmater totalement les réseaux karstiques. Les périodes interglaciaires favorisent les décolmatages, au moins partiels, et l'édification des spéléothèmes. L'étude de ces séquences appuyée par des données issues de la palynologie et de la chronologie U/Th aboutit à des reconstitutions paléoclimatiques tout à fait originales.

Mots-clés: spéléochronologie, sédiments détritiques, karst Belge, Belgique

Abstract

UDK 551.442(493):551.791
551.791:551.442(493)

Quinif, Yves, Bastin, Bruno: Ways and chronology of the underground sedimentation in Belgium in Middle and Upper Pleistocene

The belgian caves contain sometimes thick and varied sedimentary sequences, which consist in a succession of detritic deposits, speleothems and hollowings. Those sequences are the consequence of paleoclimatic fluctuations. Glacial period generate detritic sediments which totally fill the karstic networks. Interglacial periods induce hollowings and edifications of speleothems. The study of those sequences, with the utilization of the palynology and U/Th chronology brings precious data concerning the paleoclimatic reconstitutions.

Key words: Speleochronology, cave sediments, Belgian Karst, Belgium

Izvleček

UDK 551.442(493):551.791
551.791:551.442(493)

Quinif, Yves, Bruno Bastin: Načini in kronologija podzemne sedimentacije v Belgiji v srednjem in zgornjem pleistocenu

V belgijskih jamah so ponekod izdatna in raznovrstna sedimentacijska zaporedja, ki jih sestavljajo izdatne zapolnitve z detritičnimi nanosi in kapniki ter izpraznjevanja. Ta zaporedja so posledica paleoklimatskih sprememb. Iz glacialnih obdobj izvirajo detritični sedimenti, ki so popolnoma zapolnili kraške votline. V interglacialih sta sledila izpraznjevanje in rast sige. Študij teh zaporedij z uporabo palinologije in U/Th analiz nam daje dragocene podatke za izvirno rekonstrukcijo paleoklimatskih dogajanj.

Ključne besede: speleokronologija, jamski sedimenti, belgijski kras, Belgija

Naslov - Address

Yves Quinif: CERAK (Centre d'Etude et de Recherches Appliquées au Karst), Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9, B - 7000 Mons, Belgique.

Bruno Bastin: Laboratoire de palynologie et de dendrochronologie, Université Catholique de Louvain, Place Croix-du-Sud, 4, B - 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

Dr. R. Gospodarič a noué dans les années passées des rapports avec les karstologues belges qui ont commencé à étudier les sédiments souterrains et dater les procès spéléogénétiques chronologiquement. Les résultats de Y. Quinif et B. Bastin, publiés ici, peuvent stimuler les études comparatives de la spéléogénèse du Karst Dinarique et de karst Européen d'ailleurs.

Rédacteur

In the last years dr. R. Gospodarič formed tight connections with Belgian karstologists who started to study the cave sediments and to date the speleogenetical processes by a similar way. Here published results may stimulate the opened comparative studies on speleogenesis of Dinaric and other European Karst.

The Editor

V zadnjih letih je dr. R. Gospodarič navezal tesnejše stike z belgijskimi krasoslovci, ki so na podoben način kot on začeli preučevati jamske sedimente in kronološko datirati speleogenetske procese. Tu objavljeni izsledki Y. Quinifa in B. Bastina naj vzpodbudijo zastavljene primerjalne študije speleogeneze dinarskega in drugega evropskega krasa.

Urednik

CARACTERISTIQUES DES CAVITÉS KARSTIQUES DE BELGIQUE

Paysage de la Haute Belgique

Le karst belge, situé essentiellement au sud du sillon des cours d'eau Sambre—Meuse (fig. 1) affecte les calcaires du Dévonien moyen (Givétien et Frasnien) et du Dinantien (Tournaisien et Viséen). La morpho—structure générale est de type appalachien: les assises calcaires givéto—frasniennes sont comprises dans les paysages entre les grès et pélites du Dévonien inférieur et du Frasnien supérieur—Famennien, les assises calcaires dinantiennes sont plissées en synclinaux bordés par les arkoses et grès famenniens affleurant à la faveur d'anticlinaux.

Ces structures résultant de l'orogénèse hercynienne ont été aplanies à plusieurs reprises durant le Mésozoïque et le Cénozoïque, des transgressions marines successives apportant sur les surfaces aplanies sables et argiles. Un réseau hydrographique conséquent prit naissance sur cette couverture, avant de s'encaisser dans le socle primaire. Enfin, les fluctuations climatiques du Quaternaire apportèrent la touche ultime au paysages ardennais avec, notamment, le creusement de vallons subséquents affluents des grosses rivières épigénétiques (Meuse, Lesse, Ourthe etc...).

Les types de réseaux karstiques

Les réseaux karstiques se partagent entre deux familles résultant du paysage morpho-structural décrit au paragraphe précédent (Quinif, 1977). Les recoupements souterrains de méandres affectent les rivières épigénétiques qui recoupent parfois souterrainement certains méandres encaissés dans les assises calcaires. Ces recoupements donnent naissance à certains réseaux karstiques parmi les plus importants: Réseau de Han-sur-Lesse, de Rochefort, de Bohon, de l'Eau Noire à Pétigny. Les réseaux de type chantoir-résurgence se structurent le long d'assises calcaires affectées de vallons subséquents. De nombreux ruisseaux descendent de collines sculptées en roches gréseuses ou schisteuses vers les vallons calcaires où ils se perdent. Ils confluent sous terre pour donner naissance à des puissantes rivières souterraines qui résurgent au creux des vallées épigénétiques, souvent par des vastes grottes-résurgences à niveaux superposé: Grotte de Remouchamps, de Hotton, de la Vilaine Source, etc...

La structure et la morphologie des cavités sont typiques des deux familles de réseaux. Les recoupements souterrains de méandres sont caractérisés par de forts débits et une faible dénivellation entre pertes et résurgences. Les cavités sont donc essentiellement horizontales, de puissants drains se partageant entre le karst noyé et les écoulements libres. Les réseaux chantoirs-résurgences, par contre, prennent naissance sur le plateau et ont une zone d'alimentation caractérisée par des cavités à prédominance verticale dont la profondeur oscille entre 50 et 120 mètres: les avens-chantoirs, suites de puits et de méandres. L'écoulement horizontal n'est souvent accessible que par la grotte-résurgence. Ces cavités sont constituées de galeries plus ou moins rectilignes suivant la structure, et étagées.

CAUSES DE LA SÉDIMENTATION KARSTIQUE

Les deux familles de réseaux ont ceci de commun qu'ils constituent des systèmes binaires (Mangin, 1982). Une partie très importante de l'impluvium est constituée de terrains

Fig.1 Distribution des calcaires et localisation des réseaux karstiques cités dans le texte.

A. Calcaires dinantiens

B. Calcaires givético-frasniens

C. Réseaux karstiques

Réseaux de type "recoupement souterrain de méandre": 1. Réseau de l'Eau Noire, 2. Réseau de Han, 3. Réseau de Rochefort, 4. Réseau de Bohon; réseaux de type "chantoir-résurgence": 5. Réseau de Hotton, 6. Réseau de Remouchamps, 7. Réseau de la Vilaine Source.

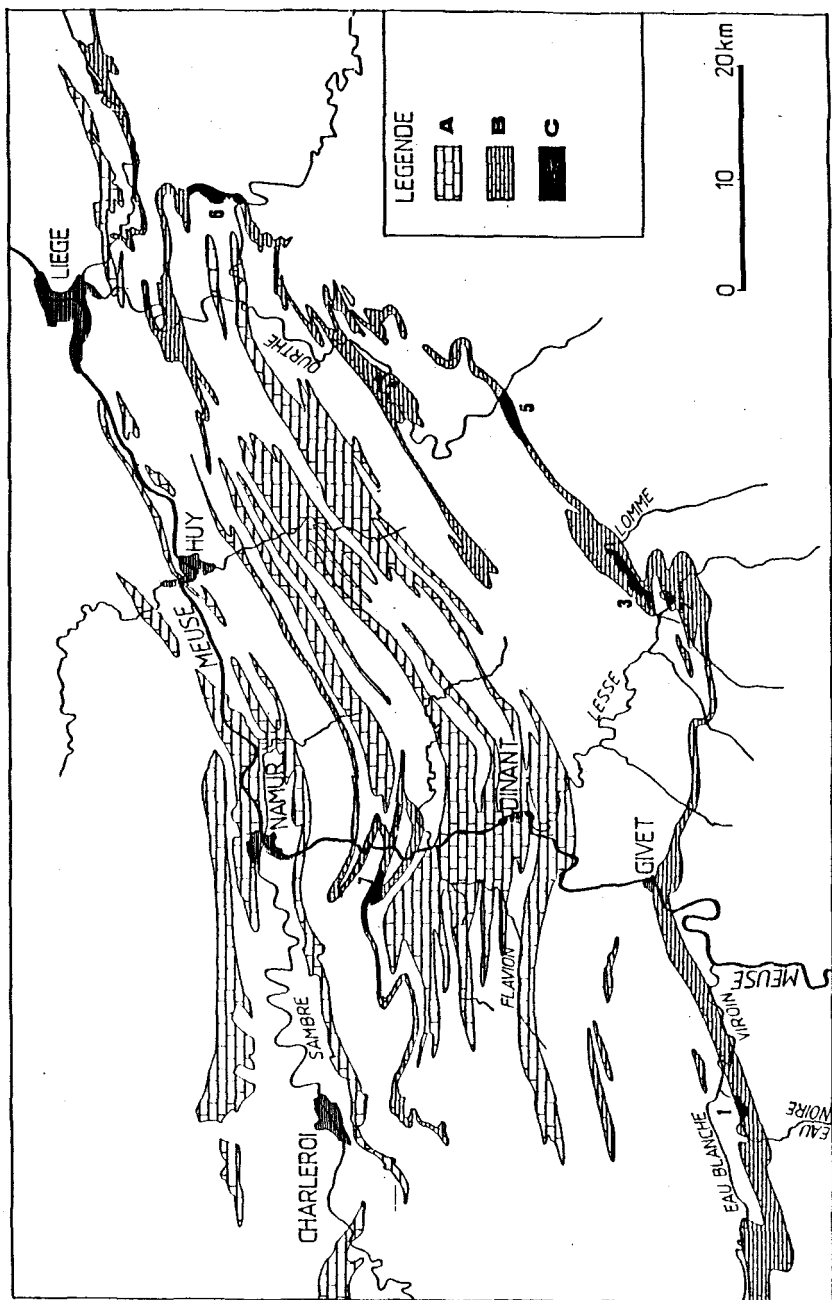
Fig.1 Limestones distribution and localisation of karstic networks

A. Dinantian limestones

B. Givetian and Frasnian limestones

C. Karstic networks

Networks of "underground meander cutoff" type: 1. Réseau de l'Eau Noire, 2. Réseau de Han, 3. Réseau de Rochefort, 4. Réseau de Bohon; networks of "chantoir-résurgence" type: 5. Réseau de Hotton, 6. Réseau de Remouchamps, 7. Réseau de la Vilaine Source.



non-karstiques. Il y a injection massive aux points de pertes de matières et d'énergie dans le réseau karstique, plus importante que les apports autochtones vu la superficie réduite des terrains karstifiés. Ainsi, des apports sédimentaires quasi-illimités de sédiments sont disponibles pour le karst. Les possibilités de colmatage sont donc permanentes. La cause principale doit être recherchée dans les fluctuations climatiques du Quaternaire. Plusieurs séquences sédimentaires souterraines constituent des cas exemplatifs illustrant les principales caractéristiques de l'évolution sédimentologique des cavités belges. Voyons quelques-unes de ces séquences.

LA SÉQUENCE DE BASE: COUPE DE LA GALERIE DES VERVIÉTOIS A LA GROTTÉ DE HAN.

La Galerie des Verviétois est une galerie supérieure de la Grotte de Han (fig. 2), complètement colmatée à certains endroits (Quinif, Bastin, 1986). La Salle Vigneron, qui résulte de l'effondrement de plancher rocheux séparant deux niveaux de galeries, permet un examen complet de la séquence (Quinif, Bastin, 1987). La série détritique inférieure est surmontée d'un complexe stalagmitique épais parfois de plus d'un mètre et constitué d'un plancher stalagmitique hérissé de stalagmites et de colonnes (fig. 3). Les sables de l'ensemble détritique sont fluviatiles et traduisent une sédimentation assez grossière matérialisant un environnement à érosion mécanique active pour le bassin d'alimentation de la Lesse. Actuellement, la Lesse sédimente essentiellement des argiles et des limons. Le climat devait donc être plus froid que l'actuel. L'ensemble stalagmitique, par contre, marque une amélioration climatique de type interglaciaire. Cela est confirmé par des datations U/Th qui indiquent une croissance de la majorité du plancher durant l'Eémien *sensu lato*. Le plancher termine sa croissance vers 60.000 ans, indiquant que son développement fut complexe et s'étala sur plusieurs interglaciaires et interstades au début de la dernière glaciation (Quinif, en préparation).

SÉDIMENTATION DURANT LE WEICHSELIEN: LA COUPE DE LA GROTTE DE LA VILAINE SOURCE (PROFONDEVILLE).

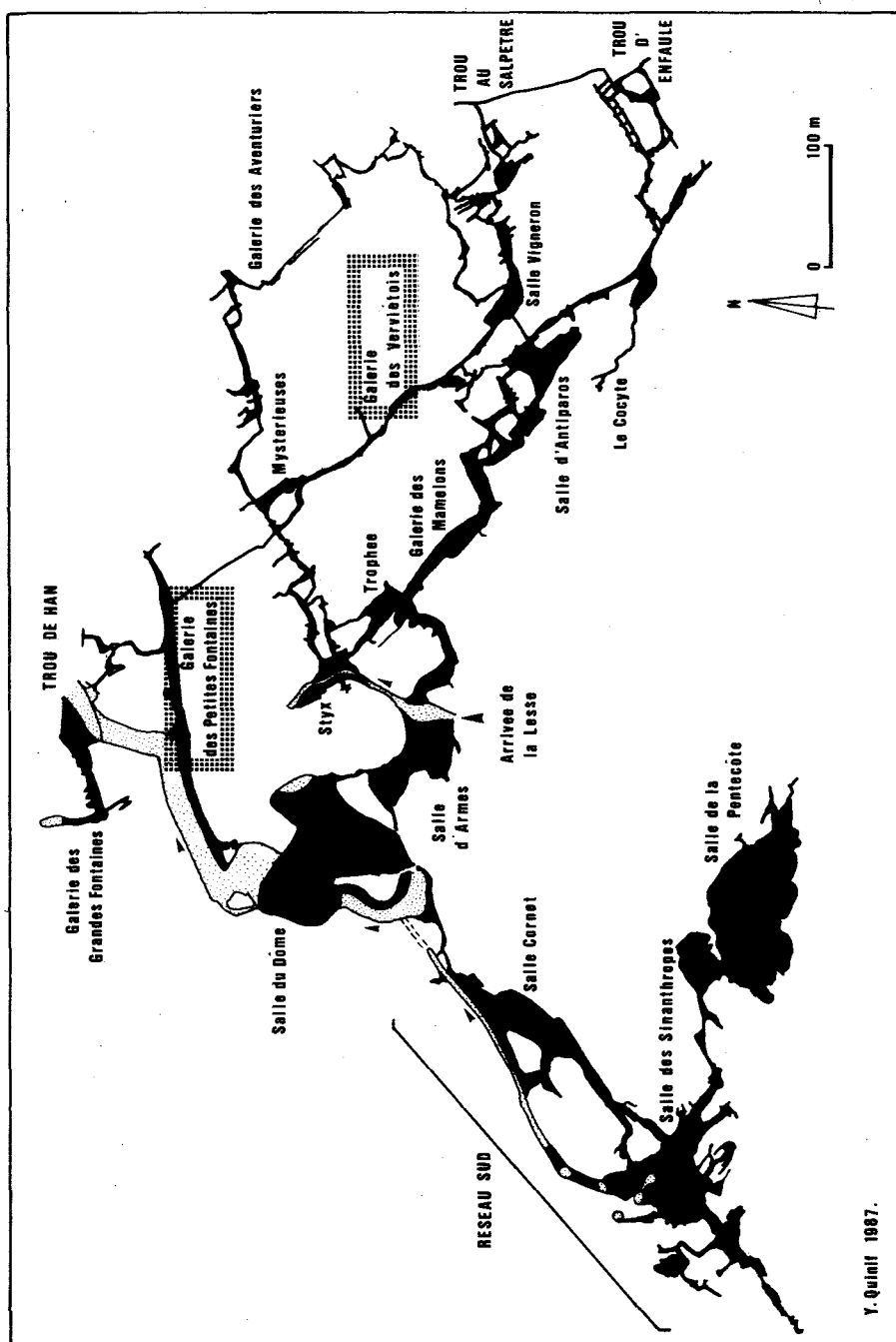
Sédimentologie

La Grotte de la Vilaine Source constitue la résurgence d'un réseau de type "chantoir-résurgence". C'est essentiellement une galerie unique assez spacieuse, avec d'épais remplissages très diversifiés (fig. 4) (Quinif, 1978).

Une coupe complexe (fig. 5) a été étudiée en détail par une équipe pluridisciplinaire (Quinif, Dupuis, Bastin, Juvigné, 1979). La lithostratigraphie (fig. 7) montre la succession de trois unités détritiques, la deuxième (B) occupant un creusement (2) dans la première. L'unité inférieure repose sur un lit d'éboulis parfois surmontés de petites stalagmites (1), matérialisant une phase dénoyée. Cette unité est fluviatile avec une tendance vers l'augmentation de la granulométrie. Après qu'elle ait complètement comblé la cavité, une circulation recrée

Fig.2 Plan de la Grotte de Han avec localisation des sites de coupes sédimentaires.

Fig.2 Survey of the "Grotte de Han" with location of the sedimentary sections sites.



Y. Quinif 1987.

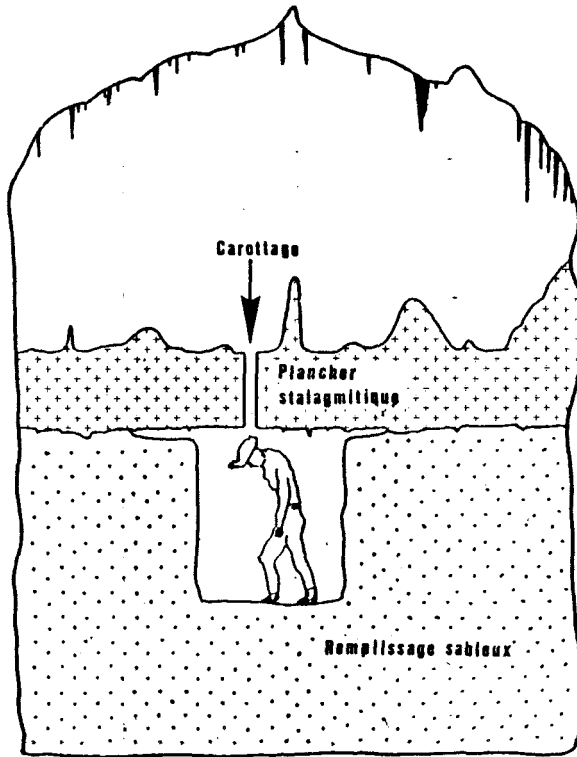


Fig.3 Coupe dans la Galerie des Verviétos de la Grotte de Han. Un remplissage sablo-limoneux est surmonté par un épais plancher stalagmitique. Le passage inférieur est artificiel: il a été creusé pour installer le chemin de visite touristique et permet ainsi d'investiguer le remplissage.

Fig.3 Section of the "Galerie des Verviétos" in the "Grotte de Han". A sandy-loamy filling is capped by speleothems. The flowstone is essentially of Eemian age.

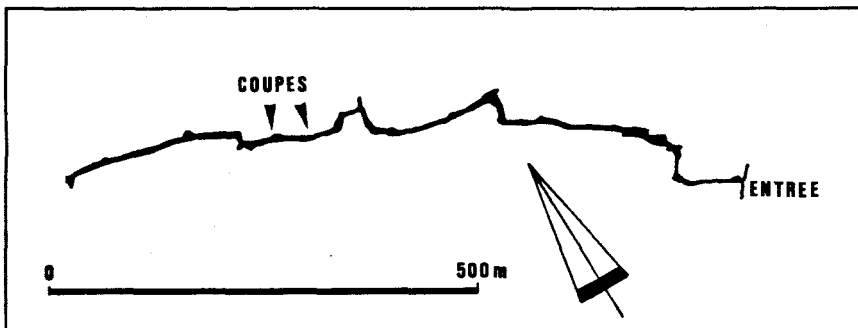


Fig.4 Grotte de la Vilaine Source avec la localisation des coupes sédimentaires.

Fig.4 "Grotte de la Vilaine Source" with the location of the sedimentary sections.

très partiellement cette sous-séquence. La deuxième unité détritique prend place dans ce recreusement mais elle est caractérisée par des limons éoliens remaniés. La disposition des couches indique des écoulements latéraux infiltrés à partir de la surface par des fissures ouvertes. La dernière unité détritique, argileuse (C), recouvre les limons avec une discordance angulaire et est elle-même scellée par des stalagmites. La fin de l'évolution sédimentaire de cette galerie est un recreusement généralisé beaucoup plus important que le précédent puisque, à certains endroits, il dévoile le lit d'éboulis. Une dernière phase de croissance stalagmitique (III) donne naissance à la presque totalité des grands spéléothèmes toujours actifs.

Des études ont été poursuivies sur d'autres sites de cette grotte. L'un d'entre eux est important pour notre propos (Bastin, Dupuis, Quinif, 1982). Une grosse stalagmite se développe sur le flanc du recreusement final qui affecte les sédiments de la grotte. Son étude pollinique a fourni un âge atlantique à subatlantique, datant ce recreusement du début de l'Holocène.

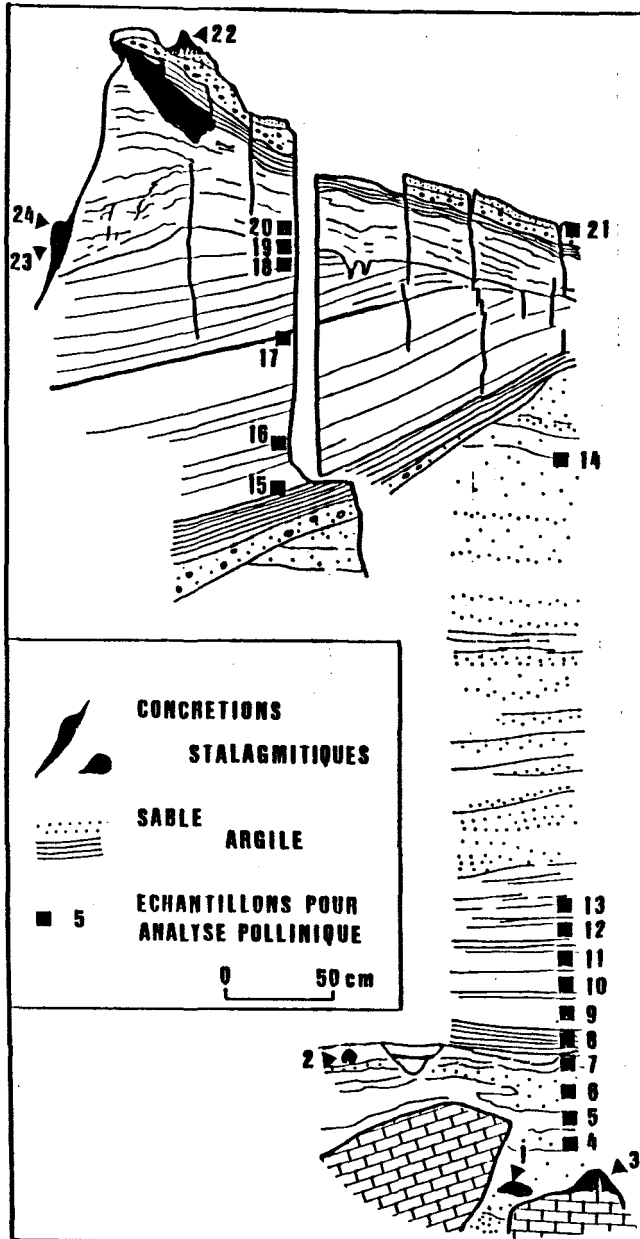
Palynologie

L'analyse pollinique (fig. 6) a essentiellement été appliquée à la coupe 1 de la grotte, dont la lithostratigraphie est explicitée à la figure 5. Les grands traits du diagramme pollinique peuvent être synthétisés de la manière suivante.

a) Les spectres obtenus dans les concrétions remaniées (1-2; les numéros des échantillons prélevés pour la palynologie renvoient à la figure 5) et dans la plus grande partie des sédiments détritiques (4-16 et 18-20) sont caractérisés par la forte dominance des plantes herbacées (75%), principalement représentées par les *Cichoriées* (60%), et par la présence régulière de spores de *Selaginella selaginoides* (1%), une espèce dont l'aire de répartition actuelle est arctique-alpine. De ce fait, ces spectres témoignent de l'existence d'un climat pléniglaciaire au moment de la mise en place des sédiments détritiques et de la croissance des concrétions qui ont fourni ces spectres.

b) Dans le spectre pollinique de la concrétion 3, la dominance des arbres (56,5%), et parmi ceux-ci les pourcentages significatifs de *Alnus* (16%), *Corylus* (10%) et *Quercus* (2%), reflètent des conditions climatiques tempérées. L'âge de 50.300 ans obtenu par datation $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de cette concrétion suggère qu'elle s'est formée durant une des oscillations "Ognon" reconnues à la Grande Pile par G.Woillard (1978).

c) Le spectre 17 est caractérisé par une assez forte proportion d'arbres (45%) et l'on note à nouveau les pourcentages significatifs de *Alnus* (10%), *Corylus* (7%) et *Quercus* (1%). En tenant compte de la position lithostratigraphique de l'échantillon 17, l'amélioration climatique enregistrée dans ce spectre pourrait correspondre soit à l'interstade des Cottés, soit à l'oscillation d'Arcy-Kesselt.



d) Dans les spectre 21 et 22, une troisième amélioration climatique se marque par la dominance des arbres et des fougères qui leur sont associées (A.P. + *Filicales* = 75%), ainsi que par les pourcentages élevés de *Corylus* (19%). Cette amélioration climatique pourrait correspondre soit à l'oscillation d'Arcy-Kesselt, soit au complexe des oscillations de Laugerie, Lascaux et Angles-sur-l'Anglin.

e) Enfin, dans les spectre 23 et 24 obtenus dans une stalagmite édifiée postérieurement au creusement final, l'extension du Pin jusqu'à 3% et des céréales jusqu'à 10% attestent un âge subatlantique récent.

Chronologie

Plusieurs données chronologiques ont été obtenues. Les datations U/Th tout d'abord (effectuées par M.Gascoyne), ont donné une date de 50.300 B.P. pour la stalagmite (3) située sur un bloc éboulé à la base de la coupe. Ajoutons que les deux autres dates ont été obtenues sur des massifs stalagmitiques plus anciens et remaniés (140.500 B.P., 226.700 B.P.) attestant d'une évolution couvrant plusieurs cycles climatiques (fig. 6).

L'étude pollinique reconnaît sans équivoque possible l'Holocène pour la dernière croissance stalagmitique. Enfin, l'examen des minéraux des loess prouvent l'âge pléni-weichselien du deuxième ensemble détritique.

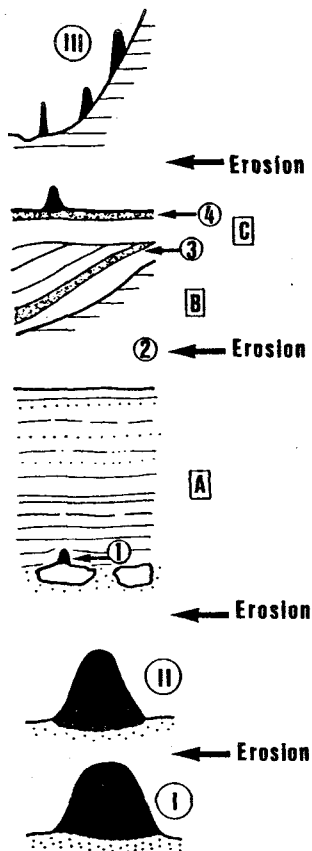
Interprétation paléoclimatique (fig. 7)

Indépendamment de toute chronologie, l'étude pollinique prouve ici l'origine pléniglaciaire de la majorité des sédiments détritiques de cette grotte ainsi que l'origine interglaciaire ou interstadiaire de la majorité des spéléothèmes. Par déduction, vu la reconnaissance de deux interstades dans les sédiments détritiques par la palynologie, on peut attribuer le creusement séparant les deux premières unités détritiques (2) à un interstade, vu le changement radical de sédimentogenèse; cet interstade est probablement celui des Cottés vu son importance, le deux suivants étant rapportés respectivement à Arcy-Kesselt (3) et au complexe Laugerie, Lascaux, Angles-sur-l'Anglin (4).

Les repères chronologiques permettent dans cet exemple d'attribuer strictement les diverses phases d'érosion et de sédimentation à des épisodes climatiques. Les périodes froides peuvent se distinguer en deux types suivant leurs conséquences sédimentogénétiques dans la

Fig.5 Coupe sédimentaire dans la Grotte de la Vilaine Source

Fig.5 Sedimentary section in the "Grotte de la Vilaine Source". One sees the first detritic unit of fallen blocks with little speleothems (3). The second detritic unit finds in an hollowing. A third detritic unit caps the sequence. A last hollowing has cut the deposit and has been embedded by stalagmites (23, 24). In black, we have speleothems. The numbers represent the samples for pollen analysis.

Lithostratigraphie**Datations
U/Th (ka)****Interprétation****HOLOCENE**

**Angles
Lascaux,
Lauzerie
Arcy-Kesselt**

Les Cottés

50.3 +3.1
 -3.0

140.5 +14.4
 -12.8

EEMIEN

226.7 +62.4
 -41.1

HOLSTEIN

Fig.7 Evolution du remplissage dans la Grotte de la Vilaine Source. On distingue essentiellement deux importants épisodes stalagmitiques (I et II) suivis d'un remplissage détritico datant de la dernière glaciation (A, B et C). On y trouve la marque de plusieurs interstades: en 1 (concrétionnement), 2 (érosion), 3 et 4 (épisodes polliniques). La séquence se termine à l'Holocène par un important recouvrement scellé par des stalagmites.

Fig.7 Evolution of the filling of the main gallery in the "Grotte de la Vilaine Source", Profondeville. One sees essentially two important stalagmitic phases (I and II) followed by a detritic filling dated from the last glacial period (A, B and C). One finds the trace of several interstadial periods: 1. speleothem. 2. erosion, 3. and 4. pollen episodes. The sequence ends at the Holocene by a last incision with speleothems.

grotte. La première partie du Weichselien est froide mais humide. Des circulations abondantes et très chargées traversent la grotte. La seconde partie de la dernière glaciation jouit d'un climat froid et sec. La grotte est quasiment exempte de circulation. Des loess descendent de la surface dans la grotte par des fissures. Les phases instadias aboutissent par contre soit à un développement des spéléothèmes, soit à des recreusements. Les phases interglaciaires, enfin, présentent des séquences morpho-sédimentaires plus complexes, alliant de très importants déblaiements et des constructions stalagmitiques imposantes.

LA GALERIE DES PETITES FONTAINES ET LE REMPLISSAGE DE L'ÉTAGE MOYEN DE LA GROTTE DE HAN

Le début de la Galerie des Petites Fontaines dans la Grotte de Han (fig. 2) dévoile une coupe qui éclaire l'évolution de la cavité depuis la fin de la dernière période glaciaire. Cette galerie est partiellement colmatée par un épais remplissage d'argiles et de limons que le passage creusé pour la visite touristique permet de bien appréhender (fig. 8). Ce dépôt est caractéristique de la sédimentation karstique en Belgique durant la dernière période glaciaire. Il est scellé par un plancher stalagmitique et des stalagmites. L'étude palynologique du plancher stalagmitique, carotté à l'entrée de la galerie, indique une élaboration débutant au Subboréal. Une datation au ^{14}C confirme cette analyse (fig. 9). On retrouve de plancher stalagmitique accrochés à plusieurs endroits aux parois de la rue d'eau.

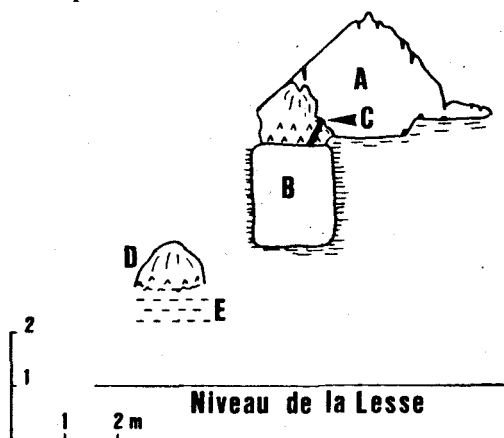


Fig.8. Coupe à l'entrée de la Galerie des Petites Fontaines (Grotte de Han). A: entrée naturelle de la galerie, B. tunnel du chemin touristique creusé au travers d'un remplissage argileux sous le massif stalagmitique, C. carottage, D: stalagmite dominant un remplissage E dont le niveau supérieur est daté du Moyen-Age.

Fig.8 Section at the entrance of the "Galerie des Petites Fontaines" (Grotte de Han). A: a natural entrance of the gallery, B: tunnel of the touristic road across the clayey filling under a speleothem, C: drilling-core, D: speleothem capping a detritic deposit E which is dated to the Middle Ages.

De l'entrée de la Galerie des Petites Fontaines, le sol descend jusqu'à la rive de la rivière souterraine. A un mètre au-dessus du niveau de l'eau, une séquence archéologique se termine par une couche attribuée au Moyen-Âge. Elle est scellée par une stalagmite massive.

Nous déduisons de ce dispositif morpho-sédimentaire que, avant le Subboréal, la galerie de sortie de la Lesse était colmatée jusqu'à une hauteur importante (plusieurs mètres au-dessus du chemin de Hâlage) par des limons et argiles. L'édification du plancher stalagmitique indique une activité hydraulique très réduite: la Lesse devait encore contourner le massif, les conduits souterrains étant en grande partie colmatés. Ce n'est qu'il y a quelques millénaires que la rivière a incisé le chenal actuel.

SÉQUENCE POLYCYCLIQUE: LES SÉDIMENTS DE LA GROTTÉ DE BOHON

La Grotte de Bohon, recoupement souterrain de méandre (Quinif, 1980), apporte des données quantitatives grâce à un important remplissage (Quinif, Bastin, Dupuis, Gascoyne, 1988). L'entrée se fait par une ancienne résurgence et conduit à un couloir horizontal et rectiligne, communiquant par des regards avec un étage inférieur actif 3 mètres plus bas. Cette galerie conserve d'importants témoins de remplissage dont la coupe synthétique (fig. 10) montre d'abord un ensemble détritique inférieur surmonté d'un complexe stalagmitique daté de 121.000 et 88.400 B.P., donc Eémien et Saint-Germain II. Un ensemble détritique moyen fait suite, recreusé par un dernier ensemble détritique scellé par des planchers stalagmitiques holocènes. Le recreusement est à nouveau attribué à l'Interstade des Cottés.

Cette séquence est plus synthétique que celle de la Grotte de la Vilaine Source. Elle ne présente ainsi que les ruptures paléoclimatiques les plus importantes (effet de lissage), à savoir le complexe Eémien (complexe stalagmitique médian), un interstade weichselien (recreusement) et l'Holocène (alternance de planchers stalagmitiques et d'argile, séquence due partiellement à des effets anthropiques).

CONCLUSIONS

Ces exemples mettent en évidence que l'évolution sédimentaire des grottes belges obéit, durant le Pleistocène moyen et récent, essentiellement à l'influence climatique. Les climats froids, grâce au régime de rhexistasie, provoquent le colmatage des réseaux par l'abondance des sédiments détritiques apportés par les rivières allochtones, que ce soit dans le cas des recoupements de méandres ou des réseaux de type chantoir-résurgence. De toute façon, dans les deux cas, ce sont les grandes rivières épigénétiques qui constituent le niveau de base.

Les périodes interglaciaires voient l'arrêt de cette sédimentation détritique. Tant que dure l'amélioration climatique, les spéléothèmes se développent. Un décolmatage partiel ou parfois quasi-total des réseaux se produit. Ce décolmatage se place à différentes périodes de l'interglaciaire. A la Vilaine Source, il se produit au début de l'Holocène (Boréal ou début de l'Atlantique). A Han-sur-Lesse, par contre, il est excessivement tardif (Subatlantique). Des cavités continuent encore de nos jours à se décolmater, provoquant par exemple des effondrements dans les champs ou prairies.

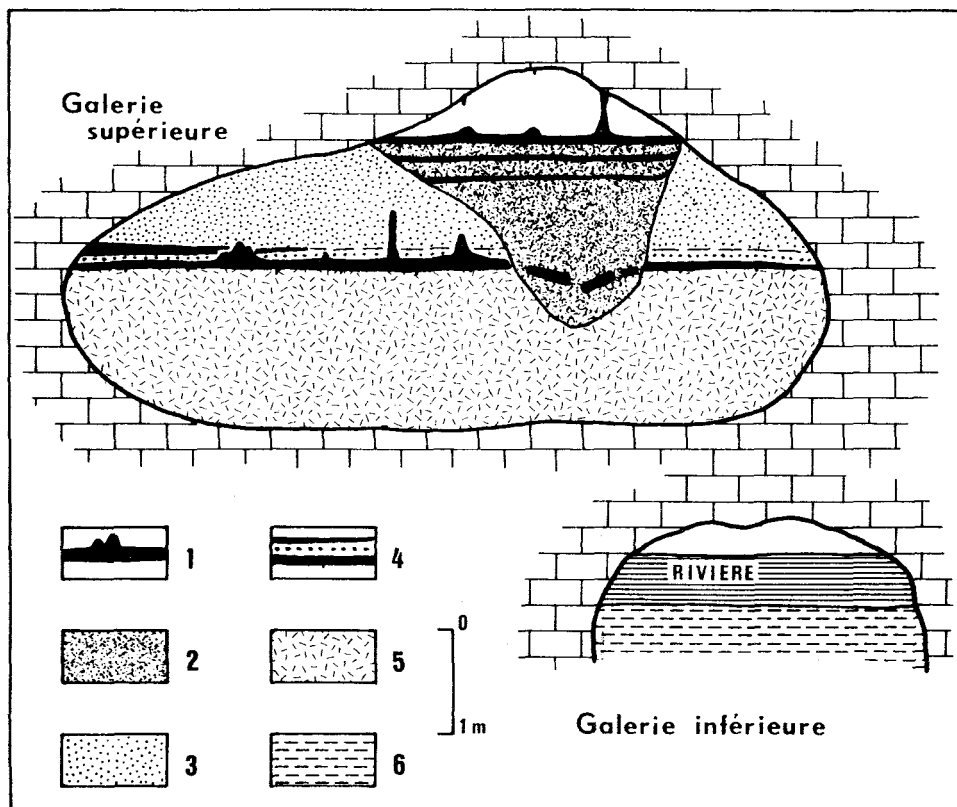


Fig.10 Contexte morpho-sédimentaire de la Grotte de Bohon. La galerie supérieure était presque complètement colmatée jusqu'à ce qu'elle soit désobstruée. La galerie inférieure est seule active. 1: plancher stalagmitique et stalagmites, 2: ensemble détritique supérieur, 3: ensemble détritique moyen, 4: strata argilo-limoneuse entre les deux planchers stalagmitiques médians, 5: ensemble détritique inférieur, 6: ensemble détritique de la galerie inférieure (la base n'a pas été atteinte par un sondage de 50 cm). Le plancher stalagmitique médian inférieur a fourni une date de 121.000 \pm 14.000 B.P., le plancher médian supérieur 88.000 \pm 10.000 B.P.(datations: Mel Gascoyne). Cet épisode stalagmitique complexe s'étend donc depuis l'Eémien jusqu'au Saint-Germain II. Les trois fins planchers stalagmitiques supérieurs datent de la période subatlantique.

Fig.10 Morpho-sedimentary context of the "Grotte de Bohon". The upper gallery is almost completely filled. The lower gallery is active. 1: flowstone and stalagmites, 2: upper detritic unit, 3: middle detritic unit, 4: clayey-loamy layer between the two middle flowstones, 5: lower detritic unit, 6: detritic filling of the lower gallery (the basis has not been reached by a 50 cm bore-hole). The lower middle flowstone is dated at 121,000 \pm 14,000 B.P., the upper-middle flowstone at 88,000 \pm 10,000 B.P. (datations: M.Gascoyne). This stalagmitic phase is related to Eemian and Saint-Germain II periods. The three thin upper flowstones are dated to the subatlantic period.

Les périodes interstadiaires les plus importantes présentent des caractères analogues mais moins importants: recreusement et concrétionnement. Vu leur durée plus restreinte, un seul phénomène prend souvent la place à l'exclusion de l'autre. Le karst a un effet de lissage.

Cette évolution prend place dans le schéma thermodynamique des karsts établi par Mangin (1982). Le colmatage d'un réseau karstique marque le passage d'un système binaire (partie de l'impluvium en terrains non karstiques) ouvert (transfert de matière, d'énergie et d'entropie entre ce système et le monde extérieur) à un système fermé qui n'échange plus d'énergie avec le monde extérieur. Il faut noter dans ce cas que ce changement est d'origine climatique: la période froide, en apportant une quantité énorme de sédiments dans le système de drainage (karstique et non karstique), provoque le remontée des niveaux de base par une sédimentation abondante dans le fond des talwegs et, simultanément, un engorgement généralisé des conduits internes du karst avec des "bouchons" qui, en s'établissant de proche en proche (d'étréouures en étréouures pourrions-nous dire), constituent autant de remontées partielles du niveau de base.

Cette nature particulière de formation de systèmes fermés fait que le phénomène est transitoire: une nouvelle modification climatique fera redescendre les niveaux de base, permettant à nouveau des échanges d'énergie avec le milieu extérieur. Une des caractéristiques de ce passage qui se marque par des décolmatages et recreusement est sa brutalité.

BIBLIOGRAPHIE

- Bastin, B., Dupuis, C., Quinif, Y., 1982: Etude microstratigraphique et palynologique d'une croute stalagmitique de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique): méthodologie et résultats. *Rev.Belg.Géogr.*, 106, 1: 109-120
- Bastin, B., Quinif, Y., Dupuis, C., Gascoyne, M., 1988: La séquence sédimentaire de la Grotte de Bohon (Belgique). *Ann. Soc.Géol.Belg.*, 111, 1:51-60
- Mangin, A., 1982: L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques. *Reunion Monografia sobre el karst, Larra*: 141-157
- Quinif, Y., 1977: Essais d'étude synthétique des cavités karstiques de Belgique. *Rev.Belg.Géogr.*, 101, 1 à 3:115-173
- Quinif, Y., 1978: La Grotte de l'Obstination ou de la Vilaine Source et le réseau de Lesves-Arbre (Belgique). *Spelunca*, 4: 146-150
- Quinif, Y., 1980: Etude karstologique de la Grotte de Bohon. *Rev.Belg.Géogr.*, 104, 3:47-62
- Quinif, Y., en préparation: La séquence sédimentaire de la Galerie des Verviétois (Han-sur-Lesse, Belgique)
- Quinif, Y., Bastin, B., 1986: Le système karstique de Han-sur-Lesse (Belgique). *Actes 9^{ème} Cong.Int.Espeleol.*, Barcelona, 1:147-161
- Quinif, Y., Bastin, B., 1987: La Grotte de Han, *in* Livret-guide du Colloque International de Sédimentologie Karstique, Han-sur-Lesse, Belgique: 19-26
- Quinif, Y., Dupuis, C., Bastin, B., Juvigné, E., 1979: Etude d' une coupe dans les sédiments quaternaires de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). *Ann.Soc.Géol.Belg.*, 102: 229-241
- Woillard, G., 1978: Grande Pile Peat Bog: A Continuous Pollen Record for the Last 140,000 Years. *Quant.Res.*, 9:1-21

NAČINI IN KRONOLOGIJA PODZEMNE SEDIMENTACIJE V BELGIJI V SREDNJEM IN ZGORNJEM PLEISTOCENU

Povzetek

Vsi nanizani primeri dokazujejo, da je bil sedimentacijski razvoj v belgijskih jamah v srednjem in mlajšem pleistocenu predvsem pogojen s klimatskimi vplivi. Mrzla klima je povzročila odlaganje sedimentov in zasipavanje rogov z detritičnimi sedimenti, ki so jih nanašale alohtone reke, bodisi da gre za rove, ki sekajo meandre ali za jame izvire. V dveh primerih sta bili to dve veliki epigenetski reki, ki sta vrezali osnovni nivo.

V interglacialu se je detritična sedimentacija ustavila. V času klimatskega izboljšanja so rasli kapniki. Rogi so bili delno, včasih celo popolnoma zasuti. Ponovno odstranjevanje sedimentov se je pojavljalo v različnih fazah interglaciala. V izviru Vilaine je bilo to v začetku holocena (boreal ali začetek atlantika). Nasprotno pa je bilo v Han-sur-Lesse to izredno pozno (subatlantik). Jame se izpraznjujejo še danes, kar se odraža v grezih na poljih ali travnikih.

Najpomembnejša interstadialna obdobja imajo analogen značaj, le da je manj izrazit: ponovno vrezovanje in rast sige. Glede na njihovo omejeno trajanje se je pojavljal le en fenomen, ki izključuje drugega. Kras torej vpliva "izenačevalno".

Ta razvoj krasa lahko sledimo po termodinamični skici, ki jo je predstavil A. Mangin (1982). Zasipavanje kraških sistemov označuje prehod z odprtega binarnega sistema (del impluvija na nekraških terenih) (prenos materiala, energije in entropije med sistemom in zunanjim svetom) v zaprt sistem, ki z zunanjim svetom ne izmenjuje več energije. Potrebno je dodati, da je v tem primeru sprememba klimatskega izvora: mrzlo obdobje, prinašajoče ogromne količine sedimentov v pretočni sistem (kraški in nekraški) povzroči ponoven dvig baze zaradi velike sedimentacije v dnu dolin in obenem se notranji kraški prevodniki zaprejo z "zamaški", ki se vedno bolj približujejo drug drugemu (lahko rečemo od ožine do ožine) in tako prispevajo k delnemu dvigovanju baze.

Ta značilnost razvoja zaprtih sistemov povzroča, da je pojav prehodni: ponovna klimatska sprememba bo spet znižala bazo, omogočila izmenjavo energije z zunanjim okoljem. Ena od značilnosti teh prehodov, ki se izražajo s spiranjem in ponovnim vrezovanjem, je njena nenadnost.

LUKNJE V KOSTEH IZ DOLARJEVE JAME IN NEVELJ

THE HOLLOWS IN THE BONES FROM
DOLARJEVA JAMA AND NEVLJE

MITJA BRODAR

Izvleček

UDK 551.442(497.12):903.3

Brodar, Mitja: Luknje v kosteh iz Dolarjeve jame in Nevelj

Pred nekaj leti je avtor objavil zbirko lukenj v kosteh, ki so bile odkrite pri paleolitskih izkopavanjih v Sloveniji. V tem članku dodaja nekaj starih najdb, ki so bile prezrte. Pri tem se je pokazalo, da so luknje v nosorogovih kosteh iz Dolarjeve jame in luknja v petnici mamuta iz Nevelj nekaj posebnega in ne spadajo v splošno znano problematiko. Za te luknje ne prihaja v poštev noben do sedaj znan način nastanka in avtor prepušča prihodnosti rešitev tega problema.

Ključne besede: luknje v kosteh, paleolit, Slovenija

Abstract

UDC 551.442(497.12):903.3

Brodar, Mitja: The Hollows in the Bones from Dolarjeva jama and from Nevljc

Some years ago the author had published a list of bones with hollows discovered at paleolithical excavations in Slovenia. In present article some older findings are added which were overlooked. During the work it became evident that the hollows in rhinoceros bones from Dolarjeva jama and the hollow in heel-bone of mammoth from Nevelj are something special and do not belong into generally known problematics. None till now known mode of origin could be applied for these hollows and the author leaves the solution of this problem to future.

Key words: hollows in bones, Paleolithic, Slovenia

Naslov - Address

Dr. Mitja Brodar

Inštitut za arheologijo ZRC SAZU

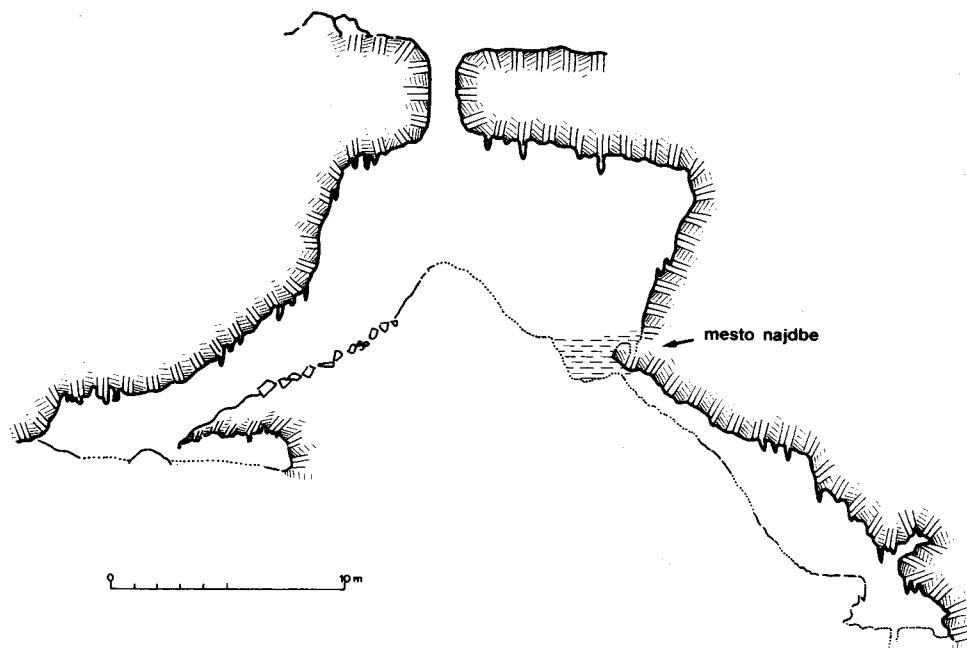
Novi trg 5

YU 61000 Ljubljana

V Potočki zijalki je bilo med drugim odkritih tudi večje število kosti z luknjami. J.Bayer jih je priznaval za delo človeka in jih uporabil kot enega od argumentov za utemeljitev olševske kulture. Povedati pa je treba, da tudi nasprotno mnenje, torej da luknje niso delo človeka, ampak so naravnega nastanka, zastopa mnogo raziskovalcev. Primerke preluknjanih kosti, ki jih ni malo, smo zbirali tudi pri vseh naših povojnih izkopavanjih. Problematika njihovega nastanka in njihove uporabe, če so delo človeka, še vedno ni dokončno razjasnjena, zato smo v članku o luknjah v fosilnih kosteh (M. Brodar 1985) želeli objaviti vse naše najdbe, da bi bile lahko upoštevane pri novih študijah o tem problemu. Toda kmalu se je pokazalo, da smo prezrli nekaj starejših podatkov.

Najstarejši podatek je še iz prejšnjega stoletja. F. Hochstetter (1881, 17) brez podrobnejših navedb samo omenja luknje v kosteh, ki so jih izkopali v Križni jami in je mnenja, da so jih povzročili medvedje s svojimi kanini. Ker smo tudi pri naših izkopavanjih v Križni jami (M. Brodar, R. Gospodarič, 1973) našli več primerkov preluknjanih kosti (M. Brodar, 1985, 34) in luknje iz Križne jame poznamo, nam navedeni podatek ne pove ničesar novega.

Bistveno drugače pa je z luknjami v nosorogovih kosteh iz Dolarjeve jame pri Logatcu



Sl.1 Dolarjeva jama, prerez.

Fig.1 Dolarjeva jama, cross section.

(sl.1).^{*} Najdbo je obdelal I. Rakovec (1933), omenja pa jo S. Brodar (1933, 168) in razen tega še F. Kos (1939, 29). Za osnovno informacijo navedimo kar Rakovčev odstavek: "Tako se je odpravila lansko leto (1932) 3. julija proti Kališam večja družba iz Logatca pod vodstvom g. Ivana Dolarja, desinfektorja pri sreskem načelstvu v Logatcu raziskovat jame. Približno 400 m severozahodno od Kališ so odkrili ob poti, ki vodi na Gornji Logatec, prav slučajno neko doslej še neznano jamo. Po vrvi so se spustili vanjo ter jo pričeli z vso vnemo raziskovati. Ko so prišli po približno sedem metrov dolgem navpičnem rovu do prve stopnje, oziroma tal, so opazili, da se jama tu cepi v dva rova, katerih dno pa leži še kakih 3 – 5 m globlje. Levi rov je mnogo večji in daljši ter okrašen z zelo lepimi kapniškimi tvorbami, medtem ko desni na prvi pogled ne kaže nikakih zanimivosti. Pri iskanju morebitnega nadaljevanja desnega rova, ki je sam na sebi razmeroma majhen – dolg ca 7 m in širok komaj 2 m – je opazil g. Dolar na nekem mestu, da štrli iz ilovice na tleh konica neke kosti. Previdno je začel kopati in pokazal se mu je velik dobro ohranjen zob. Ves presenečen je nadaljeval kopanje okoli onega mesta ter po kratkem času izvlekel še nekaj zob in precej velik odlomek neke kosti. Pri kopanju pa so se mu nenadoma vdrla tla in pokazala se je nova odprtina v nov, nekoliko manjši spodnji rov."

Ker se je izkazalo, da pripadajo zobje nosorogu, kar je precej redka najdba, so organizirali izkopavanje, ki naj bi odkrilo čimveč njegovih ostankov. Rakovec še kar izčrpno opiše izkopavanja in navede najdbe. Važna je njegova ugotovitev (1933, 6), da se najdišče ne nahaja pod sedanjim vhodom, ker zelo določno pravi: "Večino kosti in zob smo našli v skrajnem koncu rova, proti izhodu jame pa so bili ostanki vedno redkejši. V sprednji tretjini rova nismo našli nikakih nosorogovih ostankov več". Sledi obsežna paleontološka obdelava. Zanimivo je, da je ob večjem številu zob (17) od skeleta le malo ostankov in je le atlas dovolj ohranjen za obravnavo. Dalje ugotovi še, da pripadajo ostanki eni in sicer že odrasli živali. Po razmišljanjih o nastanku sedimentov, kako so kosti prišle v jamo in kaj se je z njimi dogajalo pa pravi (I. Rakovec, 1933, 25): "Kot zanimivost naj omenim slednjič še to, da je med kostnimi odlomki tudi nekaj takih z lepo izvrtanimi luknjami. Teh lukenj pri izkopavanju še nismo opazili, ker so bile zamašene z ilovico. Iz previdnosti, da se ne bi nosorogovi ostanki preveč poškodovali, smo namreč pri izkopavanju pustili na vseh kosteh in zobeh debelejšo plast ilovice. Šele pozneje sem pri čiščenju oziroma prepariranju ostankov postal nenadoma pozoren na te zanimive tvorbe."

Ker je v članku I. Rakovca nekaj nejasnosti in ker ne najdemo odgovora na nekatera vprašanja, si je bilo treba jamo ogledati. Za sodelovanje pri tem ogledu in za razgovor o jami se lepo zahvaljujem dr. Petru Habiču. I. Rakovec se z nastankom jame ne ukvarja, omenja pa (1933, 24), da je ilovico, ki je v jami, zelo verjetno nanesele tekoča voda. Obenem pa ugotavlja, da jo je skozi razpoke pronicajoča voda brez dvoma tudi nanašala s površine v jamo. Dolarjeva jama se nahaja v neposredni bližini flišnega terena na Kališah. Verjetno je bilo področje fliša nekaj obsežnejše in kakšen manjši potok ne bi bil izključen tudi potem, ko je zakrasevanje že močno napredovalo in so se večji vodni tokovi že spustili v globino. Toda v jami se vidi,

^{*} Načrt A. Mihevca je prerisala D.Lunder-Knific

da ni nastala z vodnim pretokom, ampak gre za korozijsko jamo. Zaradi tega ni mogoče domnevati, da bi bil v bližnji vrtači morda vhod v jamo, ki je sedaj zasut, kar bi pri vodnem rovu ne bilo izključeno.

I. Rakovec (1933, 7) je bil mnenja, da nosorog ni mogel pasti v jamo skozi sedanji vhod, ker je ta premajhen. Toda tudi če bi se v odprtini le zagozdil, bi padle kosti v jamo, ko bi mehki deli telesa propadli. Pod sedanjim vhodom je nasipni stožec. Morda so kosti precej globoko in se je izkopavalcem plast s kostmi izklinila navzdol, tako da zaradi tega blizu vhoda niso ničesar več našli. Vendar se ta možnost ne zdi zelo prepričljiva.

I. Rakovec (1933, 7) je sklepal, da je nosorog padel v jamo skozi odprtino, ki je bila nad najdiščem in domneval, da se je kasneje zaprla s skalami. Da bi to ugotovili, so kopali na površini nad najdiščem (kar se še danes vidi) in dobili zvezo z jamo, tako da so lahko izmerili debelino stropa (2.90 m). Pri ogledu jame se vidi, da ne more biti govora o dovolj veliki luknji v stropu, skozi katero bi mogel pasti nosorog. Rakovec je naletel le na špranjo v stropu.

V interglacialu so bile najbrž na površini nad jamo plasti flišnih ilovic, kar je razumljivo z ozirom na bližnji fliš, ki je moral takrat imeti večji obseg. V teh ilovicah so prvotno ležale kosti in takrat so tudi dobile oblogo, o kateri pravi I. Rakovec: "Večina kosti je rumenkastobele barve, dobra tretjina (37 odlomkov) pa jih je med njimi, ki so na površju bolj ali manj prevlečene s fino sivkasto ali celo popolnoma črno skorjo." Na sliki 4 spodaj se nad luknjo ostanek te črne skorje lepo vidi. V klimatskih spremembah sledeče würmske poledenitve je prišlo do denudacije in v posebnih pogojih do kryoturbatnih in morda tudi do soliflukcijskih premikanj. V tej fazi je prišlo do zaobljenja ostrih robov, na prelomih kosti pa tudi do brušenja površine, ki je v precejšnji meri odstranilo omenjeno skorjo. Razen denudacijskega odstranjevanja sedimentov je potekalo tudi njihovo spiranje v jamo skozi razpoke v stropu, od katerih je eno I. Rakovec ugotovil, lahko pa jih je tudi več. Skozi nje je prišlo v jamo tudi nekaj nosorogovih kosti in zob. S tem bi bilo pojasnjeno, zakaj niso našli nobene večje kosti, pa tudi zakaj ni v jami celega okostja, temveč le njegov manjši del (ena petina). Večkrat opazujemo v jamah udore sedimentov, na stenah pa ostanke, ki kažejo prvotno višino sedimentov. Pri ogledu jame smo se prepričali, da s takim udorom v Dolarjevi jami ni računati. Dejstvo (I. Rakovec, 1933, 6): "da so se našle kosti tudi v vertikalnih razpokah ob steni rova v višini 2 m in 2.30 m od tal" je razložljivo samo z omenjeno hipotezo, da so prišle kosti s površine v jamo, na kar pa je I. Rakovec (1933, 24) tudi že mislil.

Kostne odlomke z luknjami je bilo treba pregledati in želeli smo jih tudi na novo fotografirati, da bi dobili po možnosti boljše posnetke od objavljenih. Prirodoslovnemu muzeju, ki hrani vse nosorogove ostanke in nam je zadevne kosti radevolje posodil, gre lepa zahvala.

Pokazalo se je, da Rakovčevemu opisu lukenj (1933, 25 sl.) skoraj ni kaj dodati in ga kar povzamemo, le označbe slik se nanašajo na naše slike. "Največja luknja (fragment a, sl. 2) ni popolnoma okrogla, temveč je podolgovata. Premer njene odprtine znaša 2.1 – 2.6 cm, po njeni največji dolžini (vštevši pri tem tudi oglašeni del roba) celo 4 cm. Globina luknje znaša 3 cm. V kolikor ni struktura spongioze zakrita z vmes nahajajočo se ilovico, je še prav dobro videti, da ni bila spongioza pri nastajanju luknje prav nič stlačena. Dno luknje je znatno ožje



Sl.2 Dolarjeva jama, kostni fragment a.

Fig.2 Dolarjeva jama, bone fragment a.

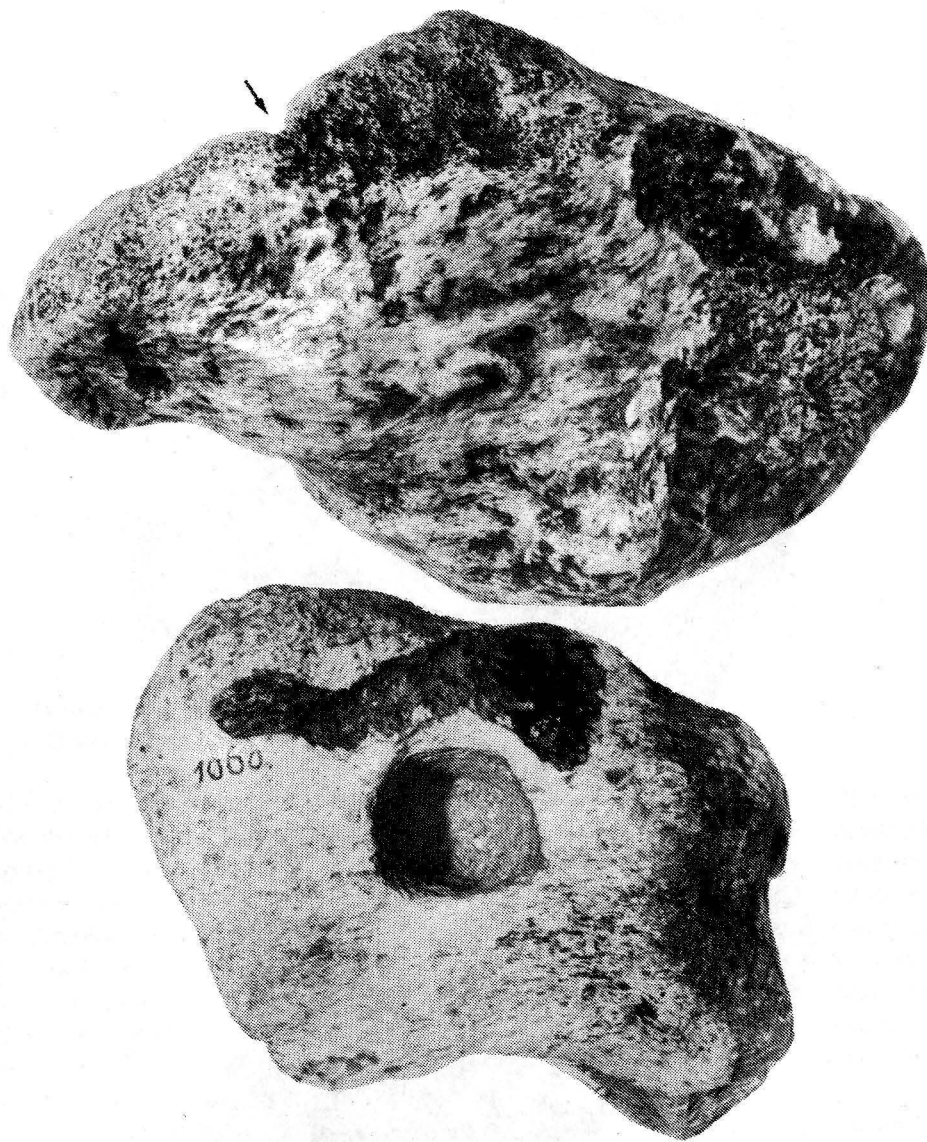
od odprtine ter nekoliko konkavno. Pri drugem kostnem odlomku (fragment b, sl. 2) je opaziti celo dve luknji, ki si stojita nasproti skoraj v aksijalni smeri. Večja od obeh (sl. 3 spodaj) ima zgoraj 1.7 cm premera in je 1.8 cm globoka. Luknja je lepo zaokrožena, njen zgornji rob že nekoliko zglajen. Manjša, nasproti stoječa luknja (sl. 3 v sredi) ima 1.5 cm premera ter je 1.3 cm globoka. Robovi te luknje so še nekoliko bolj oglajeni kot pri nasproti stoječi luknji. Naj-značilnejša od vseh pa se mi zdi okroglo izvrtana luknja (fragment c, sl. 4 spodaj), katere odprtina ima še povsem ostre robove. Premer njene odprtine znaša 1.7 cm oziroma 1.9 cm, globina 2.5 cm. Pri tej luknji so stene skoraj navpične, le mestoma so nekoliko bolj vdrte. Tudi tu ni spongioza prav nič stisnjena. Proti dnu se luknja le za spoznanje zoži, tako da dno ni koničasto zoženo, temveč samo lahno konkavno."

V nadaljevanju svoje razprave I. Rakovec (1933, 26 sl.) precej podrobno razpravlja o nastanku teh lukenj. Izključi možnost, da bi nastale od udarcev orodja pri izkopavanju. Odločno tudi odkloni možnost, da bi nastale z ugrizi zverskih zob. Enako odkloni tudi možnost razjedanja kosti vsled kemičnih procesov. Izraža pa verjetnost, da je luknje izdelala kapljajoča voda, ali pa naj bi pri njihovem nastanku vsaj sodelovala. Pri tem pa ne pove, kateri je ta drugi faktor, pri katerem naj bi voda sodelovala. Precej prostora posveti tudi možnosti, da bi



Sl.3 Dolarjeva jama, kostni fragment b. Zgoraj: z obema luknjama. V sredi: manjša luknja. Spodaj: večja luknja.

Fig.3 Dolarjeva jama, bone fragment b. Up: with both hollows. In the middle: smaller hollow. Below: bigger hollow.



Sl.4 Dolarjeva jama. Zgoraj: kostni fragment b z žlebom v profilu. Spodaj: kostni fragment c.
Fig.4 Dolarjeva jama. Up: bone fragment b with furrow in profile. Below: bone fragment c.

jih izdelal človek in konča: "Vsaj za nekatere izmed navedenih lukenj se zdi zadnja možnost še najverjetnejša, vendar pa bo mogoče reči kaj določnejšega šele potem, ko bo več jasnejših

indicijev na razpolago."

In kaj je mogoče danes, pol stoletja kasneje, reči o teh luknjah?

Razen načinov nastanka, ki jih je odklonil že Rakovec (orodje, ugrizi, kemija) poznamo še luknje, ki so jih povzročili bolezenski procesi, luknje nastale od padca kamna ali od pritiska v sedimentih in luknje, ki jih lahko povzročijo črvi. Za luknje iz Dolarjeve jame lahko tudi te vzroke izključimo. Ostaneta torej le dve možnosti nastanka, ki ju je treba nekoliko podrobneje obravnavati: ali jih je izdelala kapljajoča voda, ali pa so plod človeškega dela.

Strop Dolarjeve jame je razmeroma tenek in lahko si predstavljamo intenzivno kapljanje po vsakem dežju. Ko so kosti prišle v jamo, so bile izpostavljene padajočim kapljicam. Časa je bilo dovolj in zdi se, da tudi velikost lukenj odgovarja takemu nastanku. Če bi imeli posamezne luknje, bi kar pristali na tako rešitev problema. Toda na enem fragmentu imamo dve luknji skoro aksijalno eno nasproti druge, kar govori proti taki razlagi in kar je Rakovec že ugotovil.

V sedimentih so dani vsi pogoji za krypturacijske premike in s temi premiki bi morda razlaga uspela. Morda se je kost na ta način obrnila in se je naredila luknja še na drugi strani. Tak sklep pa pomeni, da je morala kost najprej ležati dolgo časa nepremično na istem mestu, da se je lahko naredila luknja. Krypturacija povzroča v splošnem tudi vodoravne premike, toda recimo, da jih v našem primeru ni bilo. Vsekakor pa se kost ne more obrniti hitro, ampak je to dolgotrajen proces, med katerim pa kapljice tudi padajo. Med eno in drugo luknjo bi se učinek kapljic vsaj v sledovih moral videti. Ko je prišla kost v novo lego, je morala v tej legi spet nepremično obstati, da se je lahko naredila nova luknja. Ves čas mirovanja, premikanja (sukanja) in spet mirovanja pa bi morala biti kost na površini, kar za sukanje gotovo ni ugodno.

Med vsemi načini nastajanja lukenj, ki so jih raziskovalci v dolgih desetletjih ugotovili, kapljajoče vode ni bilo. Nikjer niso poskusili razložiti nastanka lukenj s kapljajočo vodo in je to originalna Rakovčeva ideja. Zanimivo, da te razlage tudi v literaturi zadnjih petdesetih let nismo zasledili. Število jam, katerih sedimenti vsebujejo kosti, je zelo veliko. Le malokatera je popolnoma suha, v večini pa bolj ali manj kaplja. Če kapljanje povzroča luknje, bi se morali taki primerki pojavljati v velikem številu. Pri kapljanju bi vsekakor pričakovali, kakor omenja že I. Rakovec (1933, 26), tudi sledove sige. Po vsem rečenem je zelo težko sprejeti tezo, da je luknje izdelala kapljajoča voda.

Poglejmo še možnost, ki jo Rakovec tudi nakazuje, da bi luknje izdelal človek. On poučarja oster rob ene od lukenj (sl. 4 spodaj), ki naj bi govoril za delo človeka. Gre pa nedvomno pri vseh štirih luknjah za isti pojav. Kakor je nastala ena, tako so nastale tudi druge luknje. Drugih argumentov za prisotnost takratnega človeka Rakovec ne navaja. Iz njegovih podatkov se pa vidi, da so nepoškodovane le drobne kosti (omenja pa vendarle prelomljene metakarpalne kosti), večje kosti pa so razbite. Zobje so izdrti iz čeljusti. Dalje omenja, da so našli "tudi nebroj kosti raznih manjših živali" (I. Rakovec 1933, 6). Dodajmo, da smo pri našem obisku našli fosilno kost večjega ptiča. Razen tega smo našli v grudah ilovice drobce oglja. Če pri poskusnem izkopavanju najdemo razbite kosti več živalskih vrst, kaže to na prisotnost človeka in upravičuje nadaljnje raziskovanje. Dokaz za prisotnost človeka pa ti indici seveda

niso. Oglje sicer je direkten dokaz (le izjemoma ne, kadar gre za naravni požar), toda mora biti odkrito nedvomno na primarnem mestu, česar pa v našem primeru ne moremo trditi. Nadaljnje raziskovanje v Dolarjevi jami ne pride v poštev. Ker je zelo verjetno, da so prišle kosti v jamo s površja, bi bilo treba iskati nad jamo, toda nekdanjih sedimentov ni več in ni kaj raziskovati. Tudi če je bila nad jamo paleolitska postaja, je pač ni moč dokazati. Če smo rekli, da bi kapljajoča voda morala tudi vsaj v nekaterih drugih jamah povzročiti luknje v kosteh, velja podobno za človeško delo. Če bi takratni ljudje take luknje delali, bi morale biti v stotinah najdišč že kje odkrite, pa jih ni. Še en argument je časovna uvrstitev v interglacij, ki jo toplodobni nosorog nedvomno dokazuje. Ogromna večina drugih poznanih lukenj je iz sredine würma, ko se že pojavi moderni človek. Če pri drugih poznanih luknjah, ki jih pripisujemo človeškemu delu, vsaj z veliko verjetnostjo domnevamo, da so služile za piskanje, si nikakor ne moremo predstavljati, čemu naj bi služile luknje iz Dolarjeve jame.

Na kostnem odlomku, ki ima dve luknji (fragment b, sl. 3) opazimo še nekaj nenavadnega. Gre za 3.5 cm dolg žleb, ki je do 2 mm globok. Vidimo ga na desni strani slike zgoraj in levo od luknje na sliki 3 spodaj. Ne gre za zarezo, ki bi se na dnu ostro zaključila, torej za obliko črke v. Na sliki 4 zgoraj, ki ga kaže v profilu, vidimo, da je na dnu okroglo zaključen. Ker ne moremo ugotoviti, za katero kost gre, ni mogoča primerjava, da bi se videlo, kakšna je oblika kosti na danem mestu. Kljub temu bi trditvi, da je žleb nastal postmortalno, le težko ugovarjali. Žleb ni raven. Toda, če potezamo z mehkim tkivom, n. pr. kito, sem in tja, lahko nastane tudi žleb, ki je nekoliko zakrivljen. Kost s takimi oz. podobnimi žlebovi so bile v paleolitskih postajah že večkrat odkrite. Pri nas imamo zelo lep tak primerek iz Špehovke (še neobjavljen). Ne poznamo primera, da bi kdo tak žleb poskušal razložiti kot naravni pojav. Ker pa ne moremo trditi, da je luknje izdelal človek in ker njegova prisotnost v Dolarjevi jami, oziroma nad njo, sploh ni dokazana, bi bila trditev, da je žleb delo človeka, vendarle preveč tvegana.

Tretji podatek, ki v pregledu lukenj (M. Brodar 1985) manjka, je iz Nevelj pri Kamniku. Tukaj je F. Kos izkopal večji del mamutovega skeleta, ki je sedaj postavljen v Prirodoslovnem muzeju v Ljubljani, in ugotovil tudi paleolitsko postajo. V poglavju o ostankih pleistocenske favne in flore (F. Kos 1939, 489 pravi avtor: "Na enem kostnem fragmentu se opazi okrogla luknja, podobna onim, ki jih je ugotovil Rakovec... na kostnih ostankih merckijevega nosoroga." Koristna je omemba, da je luknja podobna onim na kosteh nosoroga, a o sami luknji zvezo le, da je okrogla, in ničesar drugega. Predvsem je škoda, da Kos ne pove, na kateri kosti je ta luknja. Prirodoslovnemu muzeju, ki je dovolil ogled skeleta in fotografiranje, gre tudi za to lepa zahvala. Na postavljenem skeletu je pregledovanje zelo otežkočeno, deloma pa celo onemogočeno, ker so stične ploskve nevidne. Pri pregledu skeleta smo vendarle našli dve luknji. Ena je na levem femurju neposredno za kolenskim sklepom na prehodu v diafizo. Velika je 3–4 cm in ima močno nazobčan rob. Evidentno gre za poškodbo preperete kosti in je pri naši problematiki ne gre upoštevati. Drugače je z drugo luknjo. Ta se nahaja na zgornji strani leve petnice (sl. 5). Je ovalne oblike in ima v vzdolžni smeri okrog 3 cm dolg premer. Omeniti pa je treba, da je zaradi zaobljenih robov dolžino oz. širino luknje možno različno



Sl.5 Nevlje, petnica mamuta.

Fig.5 Nevlje, mammoth heel-bone.

meriti, kar velja v precejšnji meri tudi za luknje iz Dolarjeve jame. Luknja je dobra 2 cm globoka. Proti dnu se nekoliko zoži in okroglo zaključi. Rob luknje je precej posnet in notranja površina je razmeroma gladka. To luknjo bi težko pripisali preperevanju ali mehanski poškodbi. Rekli smo, da je luknja ovalna, F. Kos pa omenja, da je okrogla. V globini res postane okrogla in je možno, da gre za isto luknjo. Možnost, da gre za neko drugo in da mi nismo našli prave pa tudi obstaja. Vsekakor pa za to v petnici, ki smo jo našli, drži Kosova omemba, da je podobna onim na kosteh nosoroga iz Dolarjeve jame, zaradi posnetega roba posebej oni na fragmentu a. Zato velja vse, kar smo rekli o nastanku lukenj iz Dolarjeve jame, tudi za luknjo iz Nevelj. Izjema je seveda možnost nastanka s kaplajočo vodo, ki v neveljskem najdišču na prostem nikakor ne pride v poštev. Ne smemo pa pozabiti na veliko časovno razliko med obema najdbama, saj je neveljska najdba iz druge polovice würma.

Še ne dokončno rešen problem nastajanja lukenj v kosteh je za nas že od Potočke zijalke naprej še posebej zanimiv. Kakor rečeno smo kosti z luknjami pri vseh raziskovanjih pozorno zbirali. Na različne načine nastalih lukenj smo doslej zbrali 83 (M. Brodar 1985, 31). Vsa leta smo tudi beležili vse luknje v kosteh, na katere smo naleteli v literaturi. Iz vse Evrope se je teh nabralo okrog 300. Pri pregledu vseh zbranih skoro 400 lukenj se je pokazalo presegajoče dejstvo, da ni med njimi niti ene, ki bi jo bilo mogoče primerjati z luknjami iz Dolarjeve jame in Nevelj. Vsa množica drugih lukenj in njihova problematika je drug kompleks, v katerega luknje iz Dolarjeve jame in Nevelj ne spadajo. Pri teh luknjah gre za drugačen pojav, ki doslej drugje ni bil registriran in je ugotovljen samo v teh dveh najdiščih. Nastanka teh lukenj z naravnimi procesi nismo mogli pojasniti. Podobno tudi razmišljanje o človeškem delu ni dalo prepričljivega rezultata. Čeprav ostaja nastanek teh lukenj nepojasnen, je morda ravno zato prav, da jih po tolikih letih potegnemo iz pozabe in upamo, da bodo bodoče študije morda rešile problem njihovega nastanka.

LITERATURA

- Brodar, M., 1985: Fossile Knochendurchlochungen.- *Razprave IV.razr. SAZU, XXVI* (Zbornik Ivana Rakovca), 29-47, Ljubljana
- Brodar, M., Gospodarič, R., 1973: Medvedji rov v Križni jami in tamkašnji ostanki jamskega medveda.- *Mednarodni mladinski raziskovalni tabori 1971-1972*, 30-46, Ljubljana
- Brodar, S., 1938: Das Paläolithikum in Jugoslawien.- *Quartär I*, 140-172, Berlin
- Hochstetter, F., 1881: Das Kreuzberghöhle bei Laas in Krain und der Höhlenbär.- *Denkschriften der mat. -naturwiss. Classe der K. Akademie der Wiss. XLIII*, Wien
- Kos, F., 1939: Neveljski paleolitik.- *Glasnik muzejskega društva za Slovenijo XX*, 25-65, Ljubljana
- Rakovec, I., 1933: *Coelodonta mercki* Jäg. iz Dolarjeve jame pri Logatcu.- *Prirodoslovne razprave 2*, 5-41, Ljubljana

THE HOLLOW IN THE BONES FROM DOLARJEVA JAMA AND FROM NEVLJE

Summary

Some years ago the author had published a list of bones with hollows discovered at paleolithical excavations in Slovenia (M.Brodar 1985). Soon it was seen that he had overlooked some important old data which complete the publication in this article.

F.Hochstetter (1881) mentions that among the bones which he had excavated in Križna jama near Lož, some with the hollows and he contributes them to bear bite. As during later excavations in this cave several bones with hollows were found (M.Brodar 1985) this fact has not a special meaning.

But it is different with the hollows in rhinoceros bones from Dolarjeva jama near Logatec and with hollow in the mammoth bone from Nevlje near Kamnik. I.Rakovec (1933) had found in Dolarjeva jama among the rhinoceros bones fragments, three such with hollows. Two have each one hollow (Fig. 2 and 4 below) and the third bone has two hollows even (Fig. 3). As the known modes of hollows origin (bites, changes because illness, chemical processes, stone fall, pressure in the sediments, worms) cannot be taken into account, I.Rakovec had offered the possibility that the trickling water had caused them. On the other hand he left the possibility that the man had made them. The author discusses these two possibilities and comes to conclusion that neither first nor the second one are probable.

The hollow in the mammoth heel-bone from Nevlje (Fig. 5) is very similar to the hollows from Dolarjeva jama (F.Kos 1939, 48). Therefore they could be treated by the same way. As the mammoth site is outdoor the possibility of percolating water can be excluded. The temporal distance among both sites has to be mentioned. The warm period rhinoceros from Dolarjeva jama could not be younger than interglacial Riss-Würm, on the other hand the Gravettien site with mammoth in Nevlje was dated into second half of Würm.

In Slovenia 83 specimens of bones with hollows were found. The author had noted down another 300 exemplaires from other sites in Europe. But in this good number of bones there is not a hole which could be compared with holes from Dolarjeva jama and Nevlje. The author's statement at the end follows that this is a special phenomenon which was not yet registered and has to be explained by further studies.

O KRASU IZVEN KRANJSKE V
VALVASORJEVEM DELU
SLAVA VOJVODINE KRANJSKE

ABOUT KARST PHENOMENA OUT OF CARNIOLA,
MENTIONED IN VALVASOR'S
"DIE EHRE DES HERTZOGTHUMS CRAIN"

ANDREJ KRANJC

Izvleček

UDK 551.44(100)"165/170"

Kranjc, Andrej: O krasu izven Kranjske v Valvasorjevem delu Slava vojvodine Kranjske

Članek podaja kratek pregled poznavanja literature o krasu ter kraških pojavov in procesov v svetu v Valvasorjevem času (2. pol. 17. stol.) ter takratnih del, ki obravnavajo kras. S tega vidika je ocenjen Valvasorjev seznam uporabljenih virov in literature (1340 enot). Poimensko so naštetih svetovni kraški pojavi, ki jih Valvasor omenja v svoji "Die Ehre des Hertzogthums Crain" (1689). Med temi je 17 vodnih pojavov (rek ponikalnic in kraških izvirov) ter 33 jam, med njimi še danes (zgodovinsko) pomembne, kot Baumanns-Höhle, La Grotte de Ste. Baume in La cave gouttierres pri mestu Tours.

Ključne besede: Valvasor, zgodovina speleologije, krasoslovje

Abstract

UDC 551.44(100)"165/170"

Kranjc, Andrej: About karst phenomena out of Carniola, mentioned in Valvasor's "Die Ehre des Hertzogthums Crain"

A short review of karstological knowledge, of karst phenomena, and karst processes in the World during the Valvasor's period (2nd half of 17th century) is given in the article, together with the works treating karst. Valvasor's list of sources and literature (1340 units) is evaluated from this point of view. Mentioned are all the world's karst phenomena cited in Valvasor's "Die Ehre des Hertzogthums Crain" (1689). Between them there are 17 karst water phenomena (sinking rivers and karst springs) and 33 caverns, including caves which are still nowadays (historically) important as Baumanns-Höhle, La Grotte de Ste. Baume, and La cave gouttierres near the town of Tours.

Key words: Valvasor, speleohistory, karstology

Naslov - Address

Andrej Kranjc, dr. geogr., znan.sodel.,
Znanstvenoraziskovalni center SAZU,
Inštitut za raziskovanje krasa,
YU-66230 Postojna, Titov trg 2

UVOD

Kmalu po izidu Valvasorjevega dela "Die Ehre des Hertzogthums Crain" (1689) (Slava vojvodine Kranjske) so sodobniki, predvsem učeni popotniki, naravoslovci in tisti, ki so se zanimali za krajevne in naravne znamenitosti, uvideli njegovo vrednost za spoznavanje takih redkosti, kot so tudi kraške posebnosti. Gotovo je njegovo delo vplivalo na avstrijskega cesarja, da je 1748 poslal dvornega matematika J. A. Nagla, naj preišče "nenavadne naravne posebnosti" na Kranjskem (Salzer 1929–31). Tako kot Naglu je tudi B. Hacquetu (1778–1789) Valvasorjevo delo služilo kot vodnik, s pomočjo katerega je obiskoval kranjske kraške znamenitosti. Seveda sta tako Nagel kot Hacquet Valvasorjeve opise in dognanja primerjala s svojimi opažanji, včasih tudi precej kritično.

Tudi kasnejši avtorji, ki jih že upravičeno lahko imenujemo krasoslovce in speleologe v modernem smislu (Schmidl, Kraus, Martel), v svojih delih o našem krasu razmeroma pogosto navajajo Valvasorja kot vir podatkov in ne le kot posebnost oziroma dokaz o starosti poznavanja našega krasa, za kar nam navadno služi njegovo delo danes. Eden zadnjih naših raziskovalcev, ki je resneje obravnaval Valvasorjevo delo kot vir podatkov za moderna krasoslovna in speleološka raziskovanja in v njem celo dobil dokaze za hitre spremembe, ki se dogajajo na kraškem površju in v podzemlju, je bil R. Savnik (1962).

Valvasorjevo delo je po svetu, v mislih imam krasoslovne kroge, splošno znano, vendar pa drugi raziskovalci, razen slovenskih, le redko pišejo o njegovem delu in pomenu. To je dokaz več, da je Valvasor res "naš" in da se nam ga ni treba bati uvrščati med naše znamenite može, kar se včasih še danes dogaja, češ, saj ni bil Slovenec. So pa tudi izjeme. Najvidnejše mesto med njimi gotovo zasluži T.R. Shaw (1979), ki je v svoji Zgodovini speleologije podrobno obdelal tudi Valvasorjevo delo in njegov prispevek k poznavanju krasa. Vendar pa tudi on zelo malo pove o Valvasorjevih omembah krasa izven Kranjske, o Valvasorjevem poznavanju tujih kraških pojavov, kar bom skušal dopolniti v tem prispevku.

VALVASORJEVA POTOVANJA

Johann Weichard (Janez Vajkard) Valvasor je bil rojen v Ljubljani konec maja 1641, kjer je bil deležen začetnega šolanja in nato študija pri jezuitih. Nadaljnje izobrazbe je iskal v tujini, saj je bila navada, da so kranjski plemiči pošiljali svoje sinove na tuje, posebno v Italijo in na Francosko, kot pravi sam Valvasor, da "... uporabljajo za akademijo popotovanje v tuje omikane dežele." (Rupel 1951, VII). Kot osemnajstletni mladenič je Valvasor najprej krenil na Nemško – v Salzburg, München, Ingolstadt, Nürnberg in Augsburg. V začetku šestdesetih let 17. stoletja je stopil v Senju pod poveljstvo grofa Nikolaja Zrinjskega ter pomagal v bojih

zoper Turke (1663, 1664), v naslednjih letih pa nadaljeval svoja popotovanja po tujini. Z Dunaja je odšel v Braunschweig, Bamberg, v Italijo in 1669 v Severno Afriko. 1670 je odšel od tam v Francijo in se nato po dveh letih preko Nemčije, Švice in Italije vrnil domov (Rupel 1951, VII).

Valvasor je vodil tudi svoj popotni dnevnik, v katerega je zabeležil "...vse, česar se je na popotovanjih naučil". Sam (III, knj. XVII) pravi: "Priznam brez ničemnega slavohepja in brez precenjevanja samega sebe, da me je kot ljubitelja vseh svobodnih in naravnih umetnosti moj živi dan radovednost ali vedoželjnost izpodbadala k raziskovanju naravnih redkosti ali skrivnosti. Kjerkoli sem mogel izvedeti za vedoželjnega moža, tja sem se napotil in nobena pot mi ni bila predolga, nobena nevarnost prevelika, noben trud prenaporen; upanje, da se utegnem česa nenavadnega naučiti in kaj takega zvedeti, mi je slajšalo vse bridkosti. Gola vedečnost me je vodila ne le po Evropi, ampak nekaj let celo po Afriki daleč naokoli, da sem se gnal za prirodnimi znanostmi" (prevod M. Rupel).

Na teh popotovanjih je Valvasor spoznal tudi marsikatero kraško posebnost. Čeprav je bil takrat še mlad, je moral biti že seznanjen z literaturo oziroma je na potovanjih tudi prebiral literaturo. Tako pravi, da je obiskal jamo St. Baume v Provansi prav zato, ker ga opisi niso zadovoljili (IV, 503). Poznavanje tujega krasa, od mediteranskega v Afriki, Italiji in Franciji, preko alpskega v Švici in Avstriji, do srednjeevropskega v Franciji in Nemčiji, mu je gotovo pomagalo pri kasnejšem preučevanju, presojanju in vrednotenju kranjskega krasa.

EVROPSKO POZNAVANJE KRASA V 17. STOL.

Čeprav pojma "kras" za geomorfološko obliko oziroma tip zemeljskega površja takrat še niso uporabljali, so učenjaki, predvsem tisti, ki so se zanimali za naravne pojave, tudi za rudarstvo, poznali, opisovali in preučevali, ali bolje, razglabljali o številnih kraških pojavih, od kraških polj, kraških voda in jam do kapnikov, celo posebnih kapniških oblik, kot so helektiti.

Takratno zahodno poznavanje kraških pojavov je deloma izviralo iz antike, temelječe na delih oziroma odlomkih pomembnih antičnih naravoslovcev in geografov, ki so tako ali drugače preživela Srednji vek. Zelo pomembno vprašanje, s katerim so se ukvarjali takratni učenjaki, je bilo, od kod voda, ki priteka na dan iz kraških izvirov. O tem so pisali že antični avtorji od Anaksagore preko Platona in Critiasa do Aristotela in Vitruvija. Na prehodu iz Srednjega v Novi vek je precej pisal o krasu menih Felix Faber. Tudi Leonardo da Vinci je preučeval kraške izvire. O tej tematiki je veliko napisanega v Kircherjevem *Mundus Subterraneus* (1665), ki je bil že Valvasorjev sodobnik. Tudi Agricola in Descartesa so zanimala ta vprašanja. Za takratno poznavanje kraških voda je bilo posebej pomembno Palissyjevo (1580) delo "O vodah in izvirih". Nekateri izmed naštetih avtorjev so se ukvarjali celo z intermitentnimi izviri – zaganjalkami, kakršnega je opisal tudi Valvasor – Lintvern pri Vrhniki (IV, 594). Zamisel o "kraški talni vodi" sta objavila avtorja, katerih dela je tudi Valvasor dobro poznal: Georg Wernher in Philippe Clüver.

Valvasorjevi predhodniki so razmišljali tudi o nastanku jam: po nekaterih so bile delo

človekovih rok (G.G. Trissino 1550), drugi pa so zagovarjali naravni in nadnaravni nastanek. Predvsem starejše teorije so tesneje povezane s kozmogonijo – ko naj bi se del zemeljske skorje zrušil v "brezno" (svetopisemsko), so nastale tudi jame (Burnet 1681). Aristotel in Descartes sta vzroke nastanka jam iskala v eksplozijah podzemeljskih par.

Nastanek jam so razlagali tudi v zvezi z vodami, in sicer z vodami vesoljnega potopa: "Kadar je Noah bil šest stu let star, na sedemnajsti dan drusiga Mesza, tu je na ta dan, v katerim so se prederli vsi Studenci te *velike globoszhine* (= velikega brezna) ..." (I. Mosessove bvqve, Dalmatin 1584, 5). Sploh je bil vesoljni potop primeren za speleogenetske razlage: ko so ogromne količine vode odtekle z zemeljskega površja v notranjost, naj bi izdolble kraške jame (Catcott 1761).

Koliko je bil Valvasor seznanjen s teorijami o nastanku kraških jam svojih predhodnikov in sodobnikov, koliko se je z njimi strinjal in jih uporabljal pri svojih opisih in razlagah, je težko reči, saj bi bila o tem potrebna posebna študija. Gotovo pa je poznal tiste avtorje, ki jih, oziroma njihova dela, omenja v svoji Slavi. Iz omemb v Slavi, njene zasnove in vsebine je videti, da je bil Valvasor vseeno bolj faktografski opisovalec, kot pa razglablja joči teoretik in zato so ga tudi bolj zanimali opisi tujih kraških pojavov, faktografija, kot pa teorije o krasu in kraških jamah.

S tem pa nikakor ni rečeno, da je bil suhoparen opisovalec dejstev. Tak se je zdel morda sodobnikom, za današnje pojme o "stvarnih opisih" in "znanstveni razlagi" pa je v Valvasorjevem delu gotovo veliko razglabljanja, nepodprtih razlag in domnev ter tudi moraliziranja ob naravnih pojavih.

TUJI KRAS V SLAVI

Ker Valvasorjevo delo ni knjiga o krasu niti ne obravnava svetovnih raritet in čudes, je razumljivo, da vanjo pravzaprav ne sodijo kraški pojavi po svetu. Zato tudi ni rečeno, da ni poznal Valvasor več krasa na tujem, več del o kraških pojavih tujih avtorjev, a jih ni vpletel v Slavo. Zato se Valvasorjevo poznavanje tujega krasa kaže predvsem ob razlagah in razpravah o raznih kraških posebnostih na Kranjskem, bodisi, da jih primerja med seboj, bodisi da s tujimi primeri razlaga domače.

"Vodnjak" v Socerbski jami primerja z vodnjakom v Grotte de la Sainte Baume v Provansi, Bohinj se mu zdi taka naravna trdnjava, kot jo imajo Švicarji v Vaudu, kjer je tudi jama, ob fosilih v okolici Kroke se spomni na jamo pri Toursu, kjer kapljajoča voda dela podobne oblike, "Veternek" pri Gamberku (Čemšenik) primerja z "vetrovnimi luknjami" po svetu, vključno v Dalmaciji (pozna jo iz Plinija, Gučetičevega dela kaže, da ni poznal) in na Haitiju.

Posebej moram opozoriti na E. Franciscija, Valvasorjevega "urednika, lektorja in soavtorja", katerega prispevki so marsikje, žal, bolj moteči kot pa Slavi v prid. To velja tudi za prispevke o krasu. Ponekod je Francisci tisti, ki je k Valvasorjevim opisom kranjskih kraških pojavov vpletel primerjave in opise podobnih po svetu, s čimer pa vseeno ni rečeno, da Val-

vasor sam del oziroma avtorjev, ki jih navaja Francisci pri teh dodatkih, ni poznal.

Valvasorjevo poznavanje krasa izven Kranjske dežele je torej slonelo po eni strani na njegovem lastnem, osebnem poznavanju, na podlagi njegovih potovanj, na drugi strani pa na podlagi virov, predvsem tiskanih, objavljenih del (ki jih je pa gotovo precej spoznal prav na svojih potovanjih).

Za uvodom Slave, še pred I. knjigo, ima Valvasor objavljen "Verzeichniss aller derer Scribenten" – ta avtorski seznam navaja okoli 1340 del 930–tih avtorjev. Natančno število avtorjev je težko ugotoviti, ker se nekateri ponavljajo v različnih oblikah (n.pr. Braun in Brown) ali pa se pojavijo tudi pod naslovom dela. Vsekakor izjemno obsežen fond virov.

Izmed zgoraj navedenih avtorjev, ki so pisali o kraških pojavih in speleogenezi, so v Valvasorjevem seznamu Agricola, Aristotel, Platon in Vitruvij od antičnih, od mlajših pa Kircher (9 del) ter Clüver (3 dela) in Wernher. Seveda tudi J. Dalmatin ne manjka. Navaja tudi Schönlebn (5 del) ter znane takratne geografe oziroma topografe, kozmografe in kartografe, kot so Blaue, Lazius, Mercator, Merian, Münster in Zeiler.

Jasno je, da omenja Valvasor tiste kraške pojave, ki jih sam ni videl, na podlagi literature. Tipičen primer so njegova razglabljanja o kraških vodah oziroma o vodah "ki teko v zemljo", kot jih običajno imenuje. Da so podzemeljske vode rariteta, je našel Valvasor dokaz že v Sv. pismu, ki pravi, da "vse vode teko v morje". Zato išče "opravičila" za tiste vode, ki se ne drže tega pravila, in navaja številne tuje primere. Za Valvasorja so endoreične reke, reke, ki se izgubljajo v nevezan sediment in kraške ponikalnice le različen pojav istega procesa – izginjanja vode v podzemlje in v tem ne vidi oziroma ne loči "kraškega" pojava od drugih (II, 163).

Nekatera dela je Valvasor posebej dobro poznal oziroma jih upošteval, čeprav tudi kritično (Schönleben). Pri razlaganju pojava presihanja Cerkniškega jezera se je gotovo naslanjal na delo A. Kircherja (1665), saj uporablja isti princip, le da pojave razlaga v najmanjše podrobnosti in zanje tudi išče dokazov v naravi, v podzemlju.

Glede na tematiko omenja Valvasor predvsem kraške vodne pojave (reke ponikalnice, voda v jamah, zaganjalke, penikajoča voda), jame (posebej hudournice in vetrovne jame ter jame–zatočišča) ter kapnike.

KRAŠKA VODA

Kot dokaz, da reka–ponikalnica kljub vsemu ni v nasprotju s Sv. Pismom navaja Valvasor Jordan oziroma njegov povrni krak Dan, ki teče kar celo miljo pod zemljo (II, 162). Če je kaj takega mogoče v Sveti deželi, potem tudi drugod, tudi na Kranjskem, ne more biti v nasprotju z božjo voljo in torej ni hudičevo delo. Izbor Valvasorjevih primerov za ponikalnice po svetu je za naše pojme precej nenavaden: po antičnih virih navaja Lycus, reke v Arkadiji in Ahaji (Alfeus), Pharos na Siciliji, Guadiano na Pirenejskem polotoku, Tigris, veliko afriško reko Niger, (Gambra ali Senega, ki naj bi pod zemljo tekla v Nil) ter ruske potoke Conitra, Salle, Maressa in Jelessa. Teh voda ne pozna iz osebnih izkušenj, ampak jih navaja po literaturi oziroma po kartah, kar pa dobro kaže na takratno poznavanje.

Voda v jamah je Valvasorja zanimala tudi v zvezi z nenavadnimi pojavi, hudournimi in vetrovnimi jamami, predvsem, če je dno takih jam suho ali pa je na dnu voda. V zvezi s tem vprašanjem omenja Pilatus-See v Švici, zelo veliko jamo z jezerom na Haitiju ter luknjo v gori Tienlu (pri mestu Sinhing na Kitajskem) z Zmajevim jezerom (II, 165, 168, 207).

S posebnim tipom kraškega izvira – zaganjalko (intermitentni izvir) se je Valvasor seznanil na Kranjskem, saj je preučeval Lintvern pri Vrhniku in ga opisal v posebnem poglavju. Temu je E. Francisci dodal opombo, kjer na kratko opiše oziroma navaja še tri takrat znane zaganjalke, v Westfaliji, v kraljevini Neapelj in Bonewell pri Richards Castle (Herford–Shire v Angliji) (IV, 599–600).

O prenikajoči vodi v tujih jamah piše Valvasor v zvezi s kapniki oziroma nastajanjem kapnikov. Tako omenja jamo na Madžarskem (Berg Schloss), v kateri se kapljajoča voda takoj strdi (IV, 487), ter "Les caves gouttieres" pri mestu Tours, kjer se kaplje, ki padajo s stropa, spreminjajo v kamene orehe, mandlje in podobno (IV, 565).

KRAŠKE JAME

Tako kot med kranjskimi kraškimi pojavi Valvasor najpogosteje in najobširneje piše o jamah, tako so jame tudi tisti pojavi, ki jih največ omenja s tujeje krasa.

Na številnih mestih v Slavi se Valvasor ne more vzdržati hvale kranjskih jam: "Jaz sam sem v različnih deželah in kraljestvih, ne le po Evropi, ampak tudi po Afriki, mnogo edinstveno čudovitih jam videl, ampak najbrž nikjer tako posebno občudovanja vrednih, kot v moji očetnjeni. ... Nikjer na svetu ni takih jam, kot na Srednjem Kranjskem." (II, 240). V podkrepitev temu navaja (če le mogoče iz lastne izkušnje) tuje jame, ki so bile takrat znane in slavne, bodisi po svoji lepoti, velikosti ali kaki drugi posebnosti.

Po antičnih virih navaja primere iz sredozemskih pokrajin: "neskončno velika" jama v Etni, jama v gori Astruno pri Neaplju (lahko sprejme 3000 ljudi!), jama pri Puzzuoliu ter Sibilina votlina. Bolj mimogrede omenja "Korikiške jame", antične Antri Coryciani (Conthyos) pri mestecu Corycio (IV, 489).

La Grotte de la Sainte Baume v Provansi (nad krajem St. Maximin) je obiskal sam, opis jame na grškem otočku Antiparos pa povzema po Kircherju (II, 240, 241; IV, 491–504). Zanimiv je razlog obiska v Ste. Baume: "Ker me opisi niso zadovoljili". Sicer pa jamo podrobneje primerja z jamo Sv. Socerba nad Trstom.

Nemčijo, Avstrijo in Švico je sam bolje poznal, zato tudi podrobneje omenja več znanih tamkašnjih jam, nekaj tudi takih, ki jih je sam obiskal. Poroča o jami na gori Zottenberg pri Schweinitzu, kjer naj bi nekdo odkril vhod v podzemlje, o jami Lauenburg v Cassuben, kjer so našli "vhod na drugi svet" ter o jami pri Baslu (II, 247). Podrobneje govori o jami Geysloch pri kraju Velden na nürnberškem. V njej je več kosti in iz jame prinašajo zdravilno "Strigavsko prst" (Schlesischen Siegel–Erde) (II, 241). Tudi Valvasorju se zdi raziskava jame pri vasi Predenwind (= Breitenwinner Höhle), tri milje od Amberga na Bavarskem, povzeta po opisu B. Buchnerja iz 1535, velik podvig (II, 251). Kaže, da je bila v Valvasorjevem času najbolj

znana jama Baumanns-Höle v grofiji Stolberg (Braunschweig), ki jo je avtor zato tudi obiskal. V Slavi ji posveti skoraj pol strani (II, 278), pozneje pa jo še večkrat omenja, v primerjavi z našimi jamami – s Postojnsko in Jamo pri Predjambi se seveda, po Valvasorju, nikakor ne more primerjati. Sicer pravi tudi za sam Predjamski grad, da "je veliko večji in čudovitejši od tirolskega podobnega gradu Köfel (Kofelo)". Podrobneje opisuje tudi otok na jezeru v Ultoniji (Irska), kjer je devet med seboj povezanih jam S. Patritius (II, 245).

Kot primera velikih jam omenja še jamo z izviro na visoki gori v Mehiki, pri kraju Kuertlavaka, ter jamo v Andih, tako ogromno, kakršnih je malo (IV, 489–490).

Valvasor opisuje na Kranjskem več vetrovnih, hudournih in žegnanih jam. Za primerjavo in potrditev navaja podobne pojave tudi od drugod po svetu. V Švici pozna več takih jam, že omenjeno Pilatus-See (II, 168), drugo prav na vrhu gore v pogorju Scheiben (Tschengenau), tretjo v okrožju Appenzell (II, 207), četrta pa je vetrovna luknja v Cucumern-berg (Kümmerlings-Berg) (II, 142). Hudourne in vetrovne luknje našteva še v Dalmaciji (II, 142), v Apeninih (Scafagiolus) (II, 165), na visoki gori v Španiji (II, 165) ter na Hispanioli (S. Domingo, Dominici), iz katere piha tako močan veter, da se ji ne moreš približati bolj kot na 5 milj (II, 142). Luknja z Zmajevim jezerom na Kitajskem sodi sicer tudi med hudourne jame. Na Češkem pa so med krajema Mseno in Hlusuw razpoke in jame, v katerih domuje veter (II, 168).

Kot zadnje med jamami naj omenim še jame–zatočišča ali "retirade", kot jim pravi Valvasor (IV, 516), ki niso bile le posebnost kranjskega krasa. Zgoraj sem že omenil jamski grad Kofel, ki ga sicer podrobneje ne opisuje. Bolj je navdušen nad luknjo pri kraju Gard v Franciji (IV, 516), ki ima dovolj prostora za sto konj in v kateri je obedoval kralj Henrik IV. Še podrobneje pa opisuje nezavzetno zatočišče, kot Jama pri Predjambi, Waldenser Höle ali "la merueilleuse Caverne des Vaudois", ki je opremljena in lahko sprejme 400–500 ljudi (IV, 544).

KAPNIKI

Valvasor na več mestih omenja kapnike in sigo, njihovo lepoto in nenavadnost pa tudi svoje poskuse, da bi dognal njihovo sestavo, lastnosti in starost. Poizkuse in opazovanja je opravljal predvsem na sigi iz Jame pri Predjambi. Zato ob takih prilikah večkrat navaja tudi druge avtorje oziroma podatke iz drugih jam, ki omenjajo sigo in kapnike. Nenavadno je, da kot primer jame s krasnimi kapniki navaja prav jamo v Guatemali, v pokrajini Vera Paz, pri kraju St. Augustin (II, 487).

S tega vidika sta zanimiva njegova citata o jami pri Berg Schloss na Madžarskem ter o Les caves gouttieres pri Toursu (Francija) – v obeh se nenavadno hitro odlaga siga. V jami pri Toursu nastajajo nenavadne oblike, podobne fosilom, v madžarski jami pa je velik in čisto bel "kamen" v obliki človeške figure ((IV, 565).

ZAKLJUČEK

Valvasor v svojem delu omenja tuje kraške pojave z namenom, da jih primerja s kranjskimi. Včasih v njih oziroma v tuji literaturi o njih išče potrditve za domače nenavadnosti. Do tuje literature ni kritičen (do samih pojavov, predvsem glede njihove lepote in nenavadnosti v primerjavi s kranjskimi pa je), zato navaja primere, ki se nam po današnjih merilih zde preveč fantastični (n.pr. da Dan – rokav Jordana – izvira spet na Siciliji, da Senegal teče pod zemljo v Nil).

Vsega skupaj omenja 14 rek–ponikalnic, 3 intermitentne kraške izvire in 33 jam oziroma jamskih spletov. Take primere pozna takorekoč z vsega sveta: v Evropi najbolj pozna Avstrijo, Nemčijo in Švico, omenja primere iz Grčije, Italije, Francije, Španije, Irske, Češke in Rusije; iz Afrike citira velike reke, ki so bile po tedanjih pojmih ponikalnice; iz Azije navaja Tigris in jamo na Kitajskem; iz Amerike pozna kraške pojave na Haitiju, v Guatemali, v Mehiki in v Andih.

Pomen teh pojavov v svetovnem krasoslovju je različen, saj so med njimi taki, ki so "klastični" primeri (Baumanns–Höhle, Ste. Baume) in je zanimivo, da jih Valvasor omenja, pa tudi taki, ki jih danes ne poznamo ali so morda celo izmišljeni (razpoke pri Msenu, Zmajev jezero). Vsekakor jih je pa dobro poznati, že zato, da laže ocenimo Valvasorjevo "krasoslovno razgledanost", še posebej, ker v obsežnem Repertoriju (Gratzy 1901) tuji kraji in imena tujih pojavov z redkimi izjemami niso upoštevani.

UPORABLJENI VIRI IN LITERATURA

- (Burnet, T.), 1681: *Telluris Theoria Sacra*. G. Kettilby, London
Catcott, A., 1761: *A treatise on the deluge* ... 296 str., London
Dalmatin, I., 1584: *Biblia*, tv ie, vse Svetv Pismv, Stariga inu Noviga Testamenta, Slovenski, tolmažena. 1-334, 1-210, 2-150, Wittenberg
Gratzy, O., 1901: *Repertorium zu J.W. Freiherrn von Valvasors "Die Ehre des Herzogthums Krain"* (1689). 1-112, Laibach
Hacquet, B., 1778-1789: *Oryctographia carniolica, oder physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain* ... 4 vol., Leipzig
Kircher, A., 1678: *Mundus Subterraneus*... I. T., 3. izd., str. 507, Amstelodami
Palissy, B., 1580: *Discours admirables, de la nature des eaux et fontaines*... 301 str., Paris
Rupel, M., 1951: Valvasorjevo berilo. VII-XXIV, 3-365, Ljubljana
Salzer, H., 1929-31: *Die Höhlen- und Karstforschungen des Hofmathematikers Joseph Anton Nagel*. *Speleol. Jahrb.*, 10-12, 1-2, 111-121, Wien
Savnik, R., 1962: Nekateri problemi kraške hidrografije na Dolenjskem. *Dolenjska zemlja in ljudje*, 15-30, Novo mesto
Shaw, T.R., 1979: *The scientific investigation of limestone caves, to 1900*. II-XVI, 1-393, Crymych
Trissino, G.G., (1550) (pismo datirano 5.marec 1537), ff. 420a-421a v Alberti, L. *Descrittione di Tutta Italia* ... , 469 ff, Bologna
Valvasor, J.W., 1689: *Die Ehre des Hertzogthums Crain*. I. Th., 1-696, Laybach

ABOUT KARST PHENOMENA OUT OF CARNIOLA, MENTIONED IN VALVASOR'S "DIE EHRE DES HERTZOGTHUMS CRAIN"

Summary

Valvasor's book "Die Ehre des Hertzogthums Crain" was very popular soon after its publication already. However almost nobody who had written about his work has mentioned the karst phenomena out of Carniola cited by Valvasor.

After his studies at Jesuits Valvasor had travelled abroad to civilized countries as was the habit in those days in Carniola. He had called it "travelling Academy". For about 12 years he has travelled through Germany, Italy, North Africa, France and Switzerland. During his travels he wrote diary and "whenever I heard for a learned man, I have turned there in hope to learn or to hear something exceptional". On his journeys Valvasor got acquainted with karst phenomena and literature about them.

At the beginning of 1st volume Valvasor has published the register of used sources and published works - 1340 units and 930 authors. Among them there are the authors from antiquity to Valvasor's contemporaries who had created the general opinion about karst: Agricola, Aristoteles, Vitruvius, Kircher, Clüver, Wernher. He had used the works of famous topo-, cosmo-, and geographers as were Blau, Lazius, Mercator.

Concerning the karst abroad, according the topics, Valvasor has mentioned karst water phenomena (sinking rivers, water in the caves, intermittent springs, percolating water), karst caverns (big caverns, "thunderstorm" caves, wind caves and shelters), and flowstone.

Among sinking rivers he had considered Jordan, Lycus and Alfeus, rivers in Arcadia and Achaia, Pharus (Sicily), Guadiana, Tigris, Niger, Gambia, Senega (flowing underground to Nile) in Africa and Russian rivers Conitra, Salle, Maressa and Jelesca. As the caves with special water he had mentioned Pilatus-See (Switzerland), the cave with lake on Hispaniola, and the hole in Tienlu Mountain (China) with Dragon's Lake in the bottom of it. When speaking about intermittent spring Lintvern, Valvasor's redactor E. Francisci had added 3 another similar springs in Westfallen, in Kingdom of Neapoli and Bonewell near Richards Castle in Herford-Shire.

Percolating waters that have drawn Valvasor's attention were from Berg Schloss in Hungary and Les caves gouttieres near Tours, both petrifying quickly.

Beside the caves mentioned above, Valvasor had cited additional 30 caves from Italy (Etna, Neapoli, Pozzuoli), Antri Coryciani, France (La Grotte de Ste. Baume, cave in Gard), Greece (Antiparos), Switzerland (near Basel), Austria and Germany (Zottenberg, Lauenburg, Geyssloch, Breitenwinerhöhle) and Ireland (Ultonia - S. Patritius). Extensively he had described Baumanns-Höhle, Breitenwiner-Höhle and Antiparos Cave. He had mentioned the caves in America even: Hispaniola, Guatemala, Mexico and Andes.

Shelter caves in his work are presented by hole near Gard in France and by famous "la merueilleuse Caverne des Vaudois".

VLOGA KRAŠKIH PROCESOV PRI
NASTANKU SEVERNO
KARAVANŠKIH Pb - Zn RUDIŠČ

THE IMPORTANCE OF KARST PROCESSES AT ORIGIN
OF NORTH KARAVANKE Pb - Zn ORE DEPOSITS

IVO ŠTRUCL

Izvleček

UDK 551.44(234.323.61):553.44.068

Štruel, Ivo: Vloga kraških procesov pri nastanku severno karavanških Pb-Zn rudišč

Severno karavanška Pb rudišča se pojavljajo v različnih nivojih triasne skladovnice. Vertikalna litostratigrafska razdalja med najnižjim in najvišjim orudenim nivojem znaša 1500 m. Orudene so anizijske, ladinijske in karnijske plitvovodne karbonatne kamenine sub-, intra- in supratidalnega območja sedimentacije. Pb-Zn orudjenja so sedimentogenega porekla, vključno seveda z vsemi naknadnimi diagenetskimi procesi. Paleogeografske razmere so pri nastanku rude in kamenin igrale pomembno vlogo. Ob občasnih prekinitvah v sedimentaciji so se oblikovale površinske in podzemeljske kraške strukture. Kraških procesov pri nastanku Pb-Zn orudenjenj ni možno zanikati, vprašanje pa je, ali jih lahko poplošimo v smislu emerzijsko kraške hipoteze na vsa severno karavanška rudišča.

Ključne besede: kraški procesi, rudišče, Karavanke, Slovenija

Abstract

UDK 551.44(234.323.61):553.44.068

Štruel, Ivo: The Importance of Karst Processes at Origin of North Karavanke Pb-Zn Ore Deposits

Northern Kravanke Pb-Zn ore deposits appear in different levels of Triassic block. The vertical lithostratigraphic distance between the lowest and the highest mineralised level is 1500 m. Anisian, Ladinian and Karnian shallow water carbonate rocks of sub-, intra- and supratidal area of sedimentation are mineralised. Pb-Zn ore deposits in them have sedimentogene origin including all the subsequent processes during the sediments diagenesis. Paleogeographic conditions have played an important role at ore deposit and rocks development. Periodically the sedimentation was interrupted and the conditions for karst processes were given, for transformation of superficial and underground karst structures respectively. The role of karst processes during the Pb-Zn mineralisation cannot be denied but the question remains could it be generalized in the sense of emersion karst hypothesis to all Karavanke ore deposits.

Key words: karst processes, ore deposit, Karavanke Mt, Slovenia

Naslov - Address

dr. Ivo Štruel, znan. svetnik, dipl.ing.geol.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Titov trg 2

YU - 66230 Postojna

UVOD

Vse bolj pogosto se v zvezi z metalogenetsko problematiko svinčevo cinkovih rudišč v karbonatnih kameninah omenja tudi vloga kraških procesov. Da je z njimi povezan nastanek boksitnih rudišč, danes nihče ne dvomi, da pa so s kraškimi procesi lahko nastala tudi svinčevo cinkova rudišča in to celo sulfidna, pa je še vedno precej sporno vprašanje. Sem sodijo tudi severno karavanska rudišča. Najbolj znano in raziskano med njimi je mežiško rudišče, v katerem so kraški procesi pri nastanku nekaterih orudenenj imeli gotovo zelo pomembno vlogo, toda to še ne pomeni, da lahko to brez zadržkov posplošimo na celotno rudišče ali skupino rudišč (n.pr. na vsa vzhodnoalpska rudišča itd).

Kljub velikim napredkom je na področju metalogenetske problematike še vedno dosti ugibanj in različnih razlag o enem in istem problemu, najsi bo to o poteku nastanka rude in prikamenine, izvoru rudnih komponent, kakor tudi o naknadnih spremembah v rudi in prikamenini.

PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV KRAŠKIH POJAVOV

Čeravno so se v mežiškem rudniku s kraškimi problemi (vodami, razpokami, ilovicami, gruščem itd.) soočali že od samega začetka rudarjenja, je o njih sorazmerno malo napisanega. Zaradi narave problemov je razumljivo, da so o njih v prvi vrsti poročali rudarski strokovnjaki (A. Bertapelle, 1954; A. Zorc, 1955; S. Grafenauer, 1959), vendar pa so se prav ti tudi dosti ukvarjali z geološko problematiko rudišča, zlasti slednja dva. Precej bolj podrobno pa poroča o kraških pojavih v mežiškem rudišču in okolici D. Novak (1962; 1974), ki podobno kot P. Habič (v R. Gospodarič in sodelavci, 1989) opisuje Peco in okoliški gorski svet med osamljenimi kraškimi predeli Slovenije. Slednji meni, da so kraške globeli, vrtače in doli nastali najmanj pred zadnjo glaciacijo, če ne celo v zvezi z najstarejšo generacijo reliefnih oblik. Primerja jih z vršnimi enotami v Savinjskih Alpah, ki jih geomorfologi uvrščajo med pliocenske ali celo še starejše oblike.

Najbolj podrobne raziskave so bile opravljene v letih 1980–81, ko je na Peci mednarodna delovna skupina, sestavljena iz strokovnjakov Inštituta za hidrogeologijo iz Gradca (H. Zojer in P. Ramspacher), Inštituta za raziskovanje krasa iz Postojne (R. Gospodarič in P. Habič), Ekonomskega centra z Raven na Koroškem (I. Štruel), po obsežnih vsestranskih predhodnih raziskavah izvedla kombiniran sledilni poskus z osmimi sledilnimi sredstvi (R. Gospodarič in sodelavci, 1989). Pred tem sta kraške pojave na Peci raziskovala tudi A. Brandt in C. Hütschler (1980).

Vsi navedeni raziskovalci (razen avtorja) so kraške pojave raziskovali v okviru hidrogeo-

loških raziskav, to pomeni, da so vso pozornost posvetili v glavnem le recentnim kraškim oblikam, toda na območju severnih Karavank so tudi zanesljiva znamenja triasnih paleokraških procesov, ki jim T. Bechstädt (1975; 1978) in I. Štruel (1981; 1984) pripisujeta pomembno vlogo pri nastanku svinčevo–cinkovih orudenenj.

Nekaj povsem drugega so seveda razlage o "hidrotermalnem krasu" S. Dzulynskega in M. Sass–Gustkiewiczze (1977), ki vnašata v kraško terminologijo morda določeno zmedo, saj gre pri njuni razlagi pravzaprav le za posebno varianto hidrotermalne teorije.

LITOSTRATIGRAFSKA RAZPOREDITEV SVINČEVO-CINKOVIH ORUDENENJ

Svinčevo cinkova rudišča se na območju severnih Karavank pojavljajo v različnih nivojih litostratigrafskega zaporedja triasnih kamenin in sicer:

- v anizijskem dolomitu (Topla)
 - v ladinijsko–karnijskem apnencu ali dolomitu oziroma v takoimenovanem wettersteinskem apnencu ali dolomitu (centralno rudišče mežiškega rudnika)
 - v karnijskem dolomitu med 1. in 2. rabeljskim skrilavcem (Graben ter rudni pojavi na Pristavi, Marholčah, na Platu in Uršlji gori) ter
 - v karnijskem apnencu med 3. rabeljskim skrilavcem (rudni pojavi na Uršlji gori).
- Največ in tudi najbolj bogata orudenenja so v wettersteinskih plasteh. Med orudenenji navedenih nivojev ni nobene povezave, med seboj so celo ločeni z vodoneprepustnimi glinovci ali laporji. Vertikalna litostratigrafska razdalja med najnižjo in najvišjo rudo je okoli 1500 m. Z vidika singenetsko–sedimentne teorije pomeni to tudi relativno veliko razliko v starosti nastanka rude najnižjega in najvišjega nivoja. Da je paleogeografski relief pri nastanku orudenenj nivojev odigral zelo pomembno vlogo skorajda ni nobenega dvoma, zato je tudi eden glavnih argumentov singenetsko sedimentne teorije. Vprašanje je le, kakšni so bili še drugi pogoji, da so se nakopičile tako velike količine kovin.

Če primerjamo interstratificirana orudjenja, ki se pojavljajo v wettersteinskih plasteh v glavnem v zgornjih 140 metrih, toda v različnih in med seboj ločenih nivojih, lahko ugotovljamo v pogojih nastanka določene razlike. V nekaterih nivojih se ruda pojavlja v precej čistih apnencih (n.pr. v Srednji coni), v drugih pa v dolomitih (Navršnik, Triurno rudišče). Enako velja za oblike rudnih teles, ki kažejo določene značilnosti kraških struktur, bodisi površinskih ali podzemeljskih.

LITOSTRATIGRAFSKI RAZVOJ RUDONOSNIH KAMENIN

Anizijske plasti delimo po litofacialnih značilnostih na tri različna zaporedja kamenin. Paleontološko dokazana je edinole starost zgornjega zaporedja. Z amonitno in konodontno favno je ugotovljen zgornji anizij oziroma ilirij.

Spodnje zaporedje kamenin sestoji pretežno iz mikritnega in biomikritnega apnenca, to pomeni iz subtidalnih (podplimskih) sedimentov.

Srednje zaporedje sestoji bodisi iz dolomita (pretežno dolosparita) ali iz raznovrstnih alokemičnih kamenin (apnencev in dolomitnih apnencev) s krinoidi. Sedimenti tega zaporedja so nastali v plitvodnih okoliščinah plimskega (tidalnega) in nadplimskega (supratidalnega) pasu, kar pomeni, da je lahko občasno prišlo tudi do prekinitev v sedimentaciji, s tem pa tudi do kraških procesov oziroma do oblikovanja kraških struktur, če že ne podzemeljskih pa vsaj površinskih.

Zgornje zaporedje sestavljajo v glavnem globlje morski pelagični sedimenti – mikritni ali biomikritni apnenci z radiolarijami in roženci. Posebnost tega zaporedja so tudi tufske plasti iz lito– in kristaloklastičnega tufa srednje kisle vulkanske kamenine.

Skladovnica wettersteinskih plasti, pretežno ladinjske, deloma pa karnijske starosti, sestoji v glavnem iz plitvodnih lagunskih sedimentov (apnencev in dolomitov). Njena debelina znaša prek tisoč metrov. Spodnja polovica sestoji iz dolomita, zgornja pa pretežno iz apnenca in delno iz dolomita. Wettersteinski apnenci prehajajo proti jugu v grebenski apnenec, za katerega pa še nismo ugotovili, kdaj se je začel in kdaj je nehal njegov razvoj. Lagunske apnence ločimo od grebenskih v glavnem po fosilnem inventarju, po mikro in makrostrukturnih elementih, predvsem pa seveda po sedimentoloških značilnostih karbonatnih kamenin. Južno od grebenskega pasu se namesto apnencev in dolomitov pojavljajo glinovci in laporji, ekvivalent takoimenovanih partnaških skladov.

Wettersteinski apnenci so na prvi pogled zelo enolični, toda z malo večjo pozornostjo lahko kmalu ugotovimo, da se med seboj menjavajo raznovrstni apnenci (mikritni, dismikritni in sparitni) z in brez mikro– in makrofavne, makro– in mikrobeče, stromatolitne in onkoidne plasti ter dolomiti različne kemične sestave in zrnavosti, kar pomeni, da imamo opravka s podplimskimi, plimskimi in nadplimskimi sedimenti. Razen čistih karbonatnih kamenin s povprečno 0,16 % netopnih snovi pa se v zaporedju tu in tam pojavljajo tanke laporne plasti. T. Bechstädt (1973, 1975) je v wettersteinskih plasteh v Bleibergu ugotovil vrsto ciklotem iz regresivnih in transgresivnih sedimentov. Po njegovem vzoru smo podobne raziskave izvedli tudi v mežiškem rudniku in ugotovili povsem podobne sekvence in to celo v približno enakih razdaljah do 1. rabeljskega skrilavca, kakor v Bleibergu. V vsaki sekvenci je navadno tudi tanka laporna plast, za katero Bechstädt meni, da gre za rezidualne sedimente iz dolomita (74–85 %), illita in zelo malo kremenca. Debelina lapornih vložkov se navadno giblje v milimetrskem območju, včasih pa so celo komajda vidni. Najdemo pa tudi primere, ko lapor zapolnjuje manjše vdolbine v apnencu. Če izhajamo iz domneve, da predstavljajo laporne plasti rezidualne sedimente in ne tufite, kot to marsikdo domneva, je v zgornjem delu skladovnice rudonosnih wettersteinskih plasti osem do dvanajst nivojev, v katerih je med sedimentacijo prišlo do daljših prekinitev.

Med najbolj značilne plasti ciklotem pa sodijo takoimenovane črne breče, ki se v mežiškem rudišču pojavljajo zlasti v nivojih 12, 25 in 60 m pod 1. rabeljskim skrilavcem. Kljub neznatni debelini, od 5 do največ 15 cm, izkazujejo breče izredno veliko regionalno razprostranjenost, saj jih najdemo v približno enakih nivojih od Uršlje gore do Bleiberga v Ziljskih Alpah.

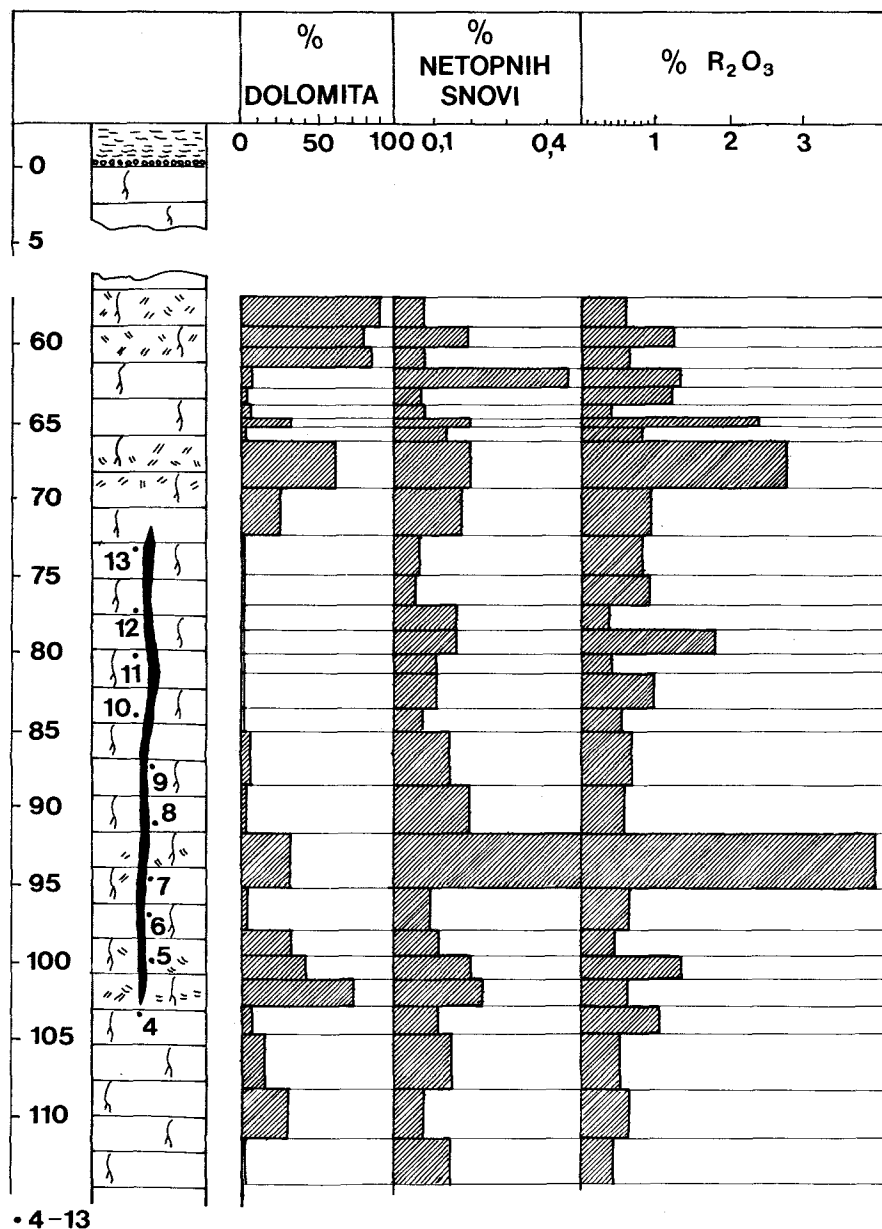
Pb-Zn ORUDENJA TER NJIHOVA POVEZAVA S PALEOKRAŠKIMI STRUKTURAMI

Dejstvo, da se velik del svinčevo cinkovih orudenenj v wettersteinskem apnencu pojavlja ob črni breči, ki v ciklotemu označuje začetek transgresije, pomeni, da je njihov nastanek povezan s paleoreliefom. Ob prekinitvi sedimentacije so v apnencu nastajale razpoke in kotanje, tu in tam morda tudi votline. Črne breče smo v mežiškem rudniku okrog leta 1960 uvedli kot vodilo pri iskanju medplastovnih orudenenj, zlasti v Navršnikovem revirju. Tloris sistema medplastovnih orudenenj je podoben tlorisu kraških jam in tudi njihovo obliko je možno primerjati z njimi. Določena dejstva dopuščajo, da tudi njihov nastanek istovetimo, druga pa govorijo proti temu ali vsaj niso tako prepričljiva. V medplastovnih orudenjenjih praviloma ne zasledimo korodiranih ali ostro začrtanih bočnih sten, kot to lahko opazujemo v recentnih jamah. So pa seveda tudi izjeme. Sem spadajo na primer cevasta orudnenja v Igrčevem revirju, imenovana Formoza. Povečini je lateralni prehod iz orudenega dela v neorudeni del postopen in ne kaže na tipične zapolnitve, kakršne na primer najdemo v osemurnih razpokah, imenovanih po starem rudarskem načinu označevanja smeri slemenitve ($8^{\circ}=120^{\circ}$). Njihov nastanek lahko s precejšnjo verjetnostjo pripišemo triasnim paleokraškimi procesom. Bolj ostro začrtana je navadno le talnina rudnega telesa. Tu se praviloma pojavljajo tudi raznovrstni rudni ritmiti, ki sestojijo iz karbonatnih, glinenih in sulfidnih mineralov (podroben opis ritmitov glej O. Schulz, 1964 in I. Štrucl, 1984). Da imamo večidel opravka s površinskimi oblikami korodiranega reliefa in ne s sistemom kraških jam, sklepamo tudi po fosilnih ostankih, ki smo jih tu in tam našli sredi medplastovitih rudnih teles. V Navršniku smo na primer na 10. obzorju našli celo grobišče polžev iz rodu *Chemnitzia* sp.

S. Dzulyński in M. Sass-Gustkiewicz (1977) sta sicer mnenja, da je močno mineralizirane fosile, kakršne smo na primer našli v Topli (I. Štrucl, 1974) interpretirati tudi z metasomatskimi procesi. Poleg tega pravita, da se zbruski ne nanašajo na prikamnino, kar je sicer res, vendar s tem ničesar ne dokazujeta. Prikazani fosili (krinoidi in foraminifere) ležijo namreč v rudi z vsemi značilnostmi sedimenta in ne v metasomatski rudi. Fosile lahko sicer najdemo tudi v jamskih sedimentih, če so jame bile povezane z morjem, v nobenem primeru pa si jih ne moremo predstavljati v precipitatih iz "hidrotermalnih" kraških raztopin.

V prid eksterni (površinski) sedimentaciji, vsaj za velik del medplastovnih orudenenj, govori tudi dejstvo, da so črne breče in stromatolitne plasti sestavni del orudenele prikamenine. Eksterna sedimentacija pa seveda ne izključuje interne sedimentacije, vsaj ne z vidika singenetsko-sedimentne teorije.

Precej bolj jasna je situacija, kar zadeva osemurna orudnenja. To so razpoke ali po kraški terminologiji špranjasta brezna, ki so bila z rudo zapolnjena v triasu, ali bolj rečeno v času, ko je nastal emerzijski nivo s črno brečo, ki je od 1. rabeljskega skrilavca oddaljena 50–60 m. Na ta nivo je namreč vezan večji del osemurnih orudenenj. So pa seveda enako stara kakor medplastovna orudnenja tega nivoja. Tudi v Bleibergu spada ta nivo med najbolj pomembne nosilce medplastovnih orudenenj in ga imenujejo Hauptsüdschlagfläche (H. Hol-



• 4-13

Sl.1. Shematski prikaz osemurne orudenele razpoke iz 14. obzorja revirja Navršnik

Fig.1. Schematic cross section of the so-called 8 hour or 120° (NW-SE) mineralized fissure on the level 14 in the Navršnik district of the Mežica mines

ler, 1960). Že to dejstvo nam pove, da imamo opravka s paleogeografskimi nivoji velikega prostranstva. Medplastovne rude zavzemajo v skladovnici wettersteinskega apnenca z oziroma na lego plasti sorazmerno majhno debelino, 1–4 m, razpoke pa segajo pod brečo 30–40 m, včasih pa tudi več. Izjema je morda veliko "osemurno rudišče" v Navršniku, za katerega si nikoli nismo bili povsem na jasnem, kateremu sistemu orudenenj pripada. Po obliki in debelini (pravokotno na plastovitost) kaže značilnosti osemurnih orudenenj, po mineralni sestavi in strukturnih značilnostih mineralnih komponent pa medplastovnim orudenenjem. Medplastovne rude tega nivoja so praviloma v dolomitu, osemurne pa v apnencu.

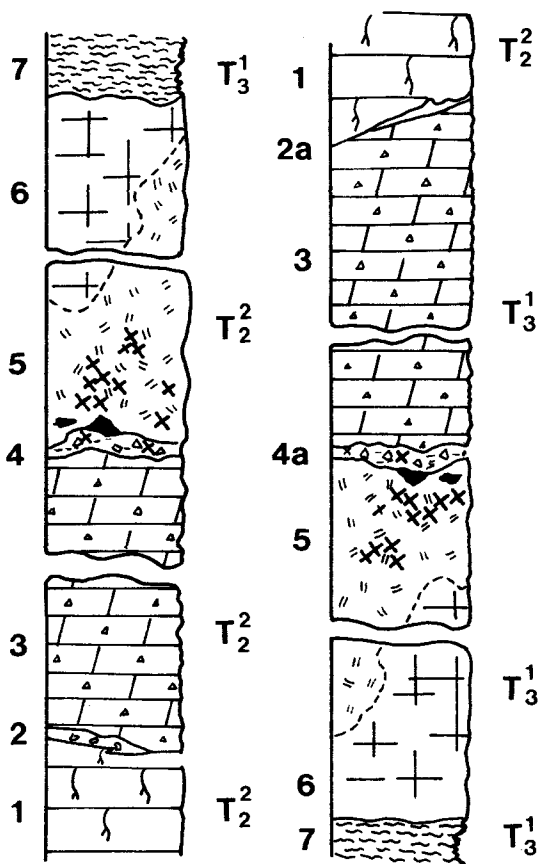
Ruda osemurnih orudenenj sestoji povečini iz galenita, cerusita in limonita, ki je nastal pretežno iz markazita. Širina orudenelih razpok variira od 1 cm do 3 m. Ruda se pogosto pojavlja le v obliki nepravilnih gnezdstih zapolnitev. Ker se je po oblikovanju današnje geološke zgradbe po osemurnih razpokah pretakala podtalnica, je marsikatera razpoka zapolnjena z recentno kraško glino ali ilovico, v kateri najdemo samo še ostanke rude. Pomembna značilnost rude je izredno visoka stopnja oksidacije, ne glede na globino, v kateri se ruda nahaja.

O nastanku osemurnih razpok so različna mnenja. Eni menijo, da gre za tektonske razpoke, drugi za netektonske. Večina znamenj govori v prid slednji ugotovitvi. Razpoke so lahko nastale že na morskem dnu, zaradi dehidracije ali diagenese sedimentov. Takšne razpoke so praviloma nepravilnih oblik in povečini tudi pravokotne na plastovitost. Morda so nekatere nekoliko preširoke, toda iz sedimentoloških in paleogeografskih raziskav sledi, da lahko nepravilne razširitve, obliko razpok in bočne korozijske pojave razlagamo s kraškimi procesi. Del kraških elementov je nastal v bližnji preteklosti, tode pretežen del jih pripisujemo paleokraškim procesom.

Na prvi pogled nam kombinacija osemurnih in medplastovnih orudenenj skorajda vsiljuje razlago o dovajanju ascendentnih rudnih raztopin. Toda osemurne razpoke zanesljivo niso imele te vloge, čeravno bi od vseh diskordantnih epigenetskih orudenenj še najprej in edine prišle v poštev. To sodimo predvsem po kraškem značaju razpok, po mineralni paragenezi ter popolni odsotnosti kakršnihkoli hidrotermalno–metasomatskih sprememb v prikamenini. V vzorcih 4–13 na sliki 1 smo namreč našli dokaj dobro ohranjene alge in foraminifere.

Znamenja paleokraških procesov kažejo tudi grebenski apnenci karnijske starosti grebenskega rudišča v jugovzhodnem delu mežiškega rudnika. Pridevek "grebenski" morda ni povsem upravičen, ker ni ves apnenec biogenega porekla. Pretežen del sestoji namreč iz drobnega intraklastičnega in bioklastičnega materiala, toda fosilni inventar kaže v glavnem na tipično grebensko favno. Zaradi korale *Tecosmilia badiotica* Volz (I. Štrucl, 1970) smo grebenski apnenec uvrščali v ladinijsko stopnjo, toda po najdbi fosilov *Oppelismilia sp.* in *Mikrotubus communis* Flügel sodimo, da je grebenski apnenec karnijske starosti in da ga lahko morda le vzporejamo s psevdowettersteinskim apnencem med 1. in 2. rabeljskim skrilavcem. Sem ga je uvrščal tudi A. Zorc (1957), vendar brez fosilnih dokazov, zgolj s primerjavo z rudiščem Kreuth v Ziljskih Alpah in to zaradi prevladujočih količin cinka v obeh rudiščih. Grebenski apnenec prehaja navzgor (glej sl. 2a) v bituminozni dolomit, med obema pa je praviloma različno debel (širok) vložek z raznovrstnimi orudenimi ali neorudenimi brečami. V krovinskem

delu grebenskega apnenca najdemo tu in tam erozijske ali korozijske kotanje in vdolbine, še bolj pogosto pa votline, zapolnjene z rudnimi ritmiti, kar pomeni soseščino eksternih in internih rudnih sedimentov.



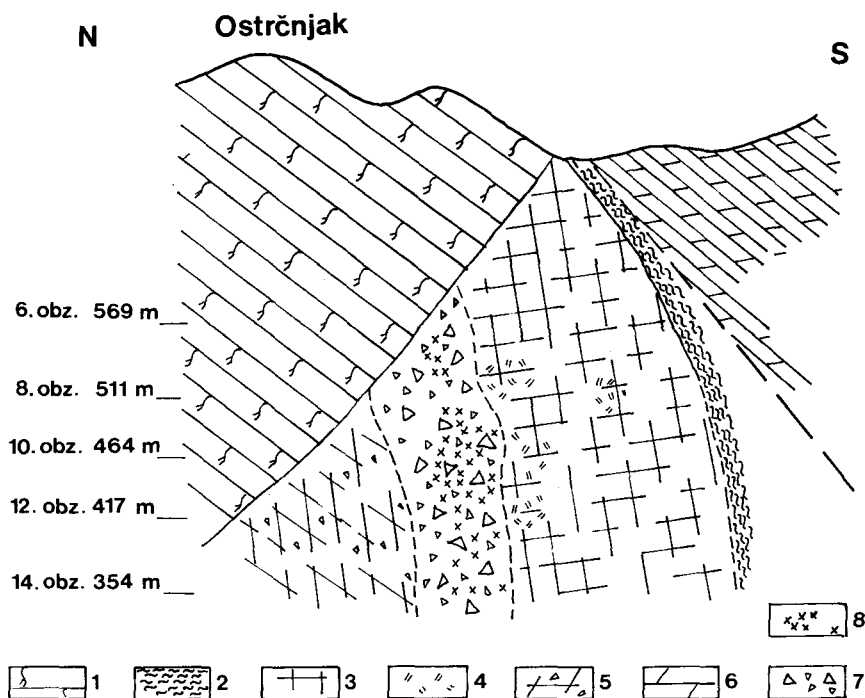
Sl.2 Dve različni razlagi o zaporedju kamnin v grabenskem rudišču

1 - wettersteinski apnenec, 2 - regresijska breča, 2a - tektonska breča, 3 - bituminozni dolomit, 4 - transgresijska breča, 4a - intraformacijska (deformacijska) breča, 5 - dolomitizirani grebenški apnenec, 6 - grebenški apnenec, 7 - 1. rabeljski skrilavec, 8 - Pb-Zn mineralizacije, 9 - sedimentne rude, T_2^2 - ladinij, T_3^1 - karnij

Fig.2 Two different interpretations of the depositional succession in the Graben district of the Mežica mines

1 - Wetterstein limestone, 2 - regressive breccia, 2a - tectonic breccia, 3 - bituminous limestone, 4 - transgressive breccia, 4a - intraformational (deformational) breccia, 5 - dolomitized reef limestone, 6 - reef limestone, 7 - 1. Raibl shale, 8 - Pb-Zn mineralizations, 9 - ore sediments, T_2^2 - Ladinian, T_3^1 - Carnian

Toda z rudo niso bile zapolnjene le kotanje in votline, s kovinami bogatejše porne vode so pronicale tudi v porozen grebenski apnenec in ga sčasoma nadomeščale z dolomitom in sulfidnimi minerali. Dolomitiziran rudonosni grebenski apnenec vsebuje tudi do desetkrat več SiO_2 kakor nespremenjen apnenec. V kontaktni coni paleogeografskega nivoja med dolomitiziranim grebenskim apnencem in bituminoznim dolomitom se srečujemo z raznovrstnimi brečami, katerih nastanek pa je še zelo sporen. Obstajajo različne in zelo si nasprotujoče razlage. Nasprotja izhajajo med drugim tudi iz različnih tolmačenj litostratigrafskega zaporedja obeh enot. Po eni razlagi je bituminozni dolomit namreč starejši od grebenskega apnenca,



Sl.3 Geološki presek skozi zapadni del grabenskega rudišča (po y = 4620)

1 - wettersteinski apnenec (ladinij), 2 - 1. rabeljski skrilavec (karnij), 3 - grebenski apnenec (karnij), 4 - dolomitizirani grebenski apnenec, 5 - bituminozni dolomit (karnij), 6 - glavni dolomit (nori), 7 - brečasta cona, 8 - Pb-Zn mineralizacije

Fig.3 Geological cross-section through the west part of the Graben ore deposit

1 - Wetterstein limestone (Ladinian), 2 - 1. Raibl shale (Carnian), 3 - reef limestone (Carnian), 4 - dolomitized reef limestone, 5 - bituminous dolomite (Carnian), 6 - Norian dolomite, 7 - breccias zone, 8 - Pb-Zn mineralizations

breča pa transgresijske narave. Iz doslej objavljenih pogledov avtorja (I. Štruel, 1970; 1984) in predhodne razlage pa sledi ravno obratno zaporedje. Obe varianti sta razvidni iz slike 2.

Prva razlaga zahteva manj komplicirano tektonsko interpretacijo in normalno lego plasti, druga pa se oslanja na gravitacijske strukture v rudnih sedimentih, ki kažejo na prevrnjeno lego plasti (gl.sl. 3). Nastanka breč verjetno ne moremo posplošiti in pripisati enemu samemu procesu (n.pr. kraškemu ali hidrotermalno kraškemu procesu, sedimentaciji, tektoniki itd.), temveč različnim procesom, ki se mestoma med seboj tudi dopolnjujejo. V petrološki sestavi breč odseva namreč v večini primerov neposredna okolica, to pomeni, da je njihov nastanek več ali manj povezan z naknadnimi geološkimi procesi znotraj obeh enot, toda v nekaterih primerih ne moremo povsem izključiti eksogenih procesov na morskem dnu.

Nastanek orudenih breč je povezan s postsedimentacijskimi deformacijskimi in disolucijskimi procesi, vendar ne v smislu hidrotermalnih kraških procesov S. Dzulynskega in M. Sass-Gustkiewiczze (1977), temveč z descendntnimi hidatogenimi raztopinami.

G. Perna (1973) opisuje breče in sedimentno rudo v kotanjah grebenskega apnenca kot tipične kraške zapolnitve v smislu emerzijsko kraške hipoteze, kar je sicer možno, toda z ozirom na sedimentacijsko okolje, ki je sledilo grebenskemu razvoju, vendarle precej vprašljivo. Zaradi evksinskega okolja z močno slano morsko vodo (lahko bi jo morda celo imenovali slanico) je bila prekinjena ali lateralno prestavljena nadaljnja rast grebena. Voda je bila obogatena s kovinami, zato je bil na grebenski apnenec, deloma pa tudi v votlinah znotraj njega, najprej odložen rudni mulj, potem pa različne količine gline in dolomita, ki za gotovo tudi niso bile brez kovinskih primesi. Mestoma sta bila odložena tudi sadra in anhidrit, ki samo še potrjuje domnevo o močno slani naravi morske vode. Vse te kamenine najdemo v različnih razmerjih nakopičene v polimiktnih in monomiktnih brečah.

Poraja pa se seveda vprašanje odkod tako nagle spremembe v sedimentacijskih pogojih, ki so omogočale nastanek triasnih svinčevo-cinkovih orudenenj. Problematika o izvoru rudnih komponent je še vedno precej zamegljena. O njej sem pisal že v razpravi o anizijskem rudišču v Topli (I. Štruel, 1974), v razpravi o mežiškem rudišču pa ni nobenih novih bolj oprijemljivih dokazov, zato sem ostal tudi pri istih ugibanjih. Ostajata dve možnosti: prvič, da so kovine prispele v zelo plitvovodne bazene z ascendntnimi (hidrotermalnimi) raztopinami, ali drugič, da so kovine supergenetskega porekla. Ker sem o teh možnostih že večkrat razpravljal ter navedel tudi dejstva za in proti prvi ali drugi možnosti (I. Štruel, 1971; 1974; 1981), bi se tu omejil le na pripombo M. Drovenika (1988), ki pravi:

"Težko je razumljivo, da bi se zaradi preperevanja na kopnem morska voda bistveno obogatila z obema kovinama, še posebno, če upoštevamo, da je bilo območje Tople oddaljeno od Vindelijskega praga, odkoder naj bi po Štruelu prihajali obe kovini, kar okrog 200 km."

Današnja razdalja je resda 200 km, toda severna karavanška rudišča so nastala v istem bazenu (enako velja seveda tudi za rudišča v Ziljskih Alpah), kot rudišča in kamenine v Seavernih apneniških Alpah. O tem problemu smo razpravljali že leta 1970 v Bleibergu, kjer sem med drugim dejal:

"Where can the native area of the Northern Drau chain be located? One possibility would be

to seek for it along the Periadriatic line, that is approximately in the area South of Innsbruck (I. Štruc, 1971)."

Po Bechstädt-ovi (1978; 1979) rekonstrukciji pa Dravski niz predstavlja celo zahodni podaljšek Severnih apneniških Alp, to pomeni, da so Pb–Zn rudišča nastala med odprtim morjem na jugu in jugovzhodu ter bližnjo celino na severu.

POSTTEKTONSKI KRAŠKI PROCESI IN NJIHOVA VLOGA PRI NASTANKU IN PREOBRAZBI Pb–Zn ORUDENENJ

Brečasta orudjenja se pojavljajo tudi v wettersteinskem apnencu. Najbolj pogosto so vezana na sistem unionskih prelomnic, ki pa so zagotovo dosti mlažje od predhodno opisanih. Starost orudenelih unionskih prelomnic je bila kar precej časa predmet polemike (M. Fabjančič, 1965). Ne samo med epigenetiki in singenetiki, temveč tudi znotraj posameznih struj so bila mnenja deljena in dileme še tudi danes niso povsem odpravljene. Nekateri so videli v teh prelomnicah dovodne kanale za singenetska sedimentna rudišča (L. Kostelka, 1965), osebno pa jih že od vsega začetka smatram za mlažje od interstratificiranih orudenenj (I. Štruc, 1965; 1971; 1984).

Prostor za orudjenja je bil ustvarjen s tektonskimi procesi, toda ruda je tudi še pozneje utrpela vrsto tektonskih sprememb. Ostalo so seveda opravile hidatogene raztopine oziroma kraške vode.

Od drugih orudenenj se unionska orudjenja razlikujejo zlasti po velikih količinah kalcita. V pretežnem delu medplastovnih orudenenj (izjema so orudjenja v Srednji coni) sestoji žilnina 90–95 % iz dolomita in le 5–10 % iz kalcita, v unionski rudi pa je to razmerje ravno obratno.

Kalcit je povečini mlečno bel, lahko pa je tudi različno obarvan, odvisno od količine in vrste tujih vključkov. V razpokah, geodah in večjih votlinah najdemo včasih tudi lepe kristalne kopuče kalcita, včasih pa tudi aragonita. Najbolj iskane in dragocene so kristalne kopuče vulfenita. Nastanek orudenenj unionskega sistema je povezan s kraškimi procesi, kar pomeni z epigenetsko mobilizacijo svinca, cinka, železa in molibdena iz okolnih kamenin ali starejših orudenenj. Ob tem se seveda sprašujemo, kdaj se je vse to dogajalo, pred ali po pliocenu. Z ozirom na dejstvo, da so unionska orudjenja kljub temu, da so najmlajša, tektonsko precej prizadeta, je velika verjetnost, da je velik del teh orudenenj nastal pred pliocenom, na primer v oligo–miocenu. S tem bi lahko razložili tudi nekoliko višje, z izotopnimi analizami ugotovljene temperature vode (T. Dolenc in sodelavci, 1981). V oligo–miocenu namreč ni prišlo le do največjih dvigov karbonatne skladovnice, temveč tudi do pomembnih magmatskih procesov vzdolž bližnjega periadriatskega šiva (E. Faninger in I. Štruc, 1978). Temperaturni gradient je bil prav gotovo precej višji od današnjega. Kraški procesi so se seveda nadaljevali vse do današnjega dne, toda od pliocena naprej vse bolj z razgrajevalnimi učinki, povezanimi z oksidacijskimi procesi.

LITERATURA

- Bechstädt, T., 1973: ZyklotHEME im hangenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). Festschrift Heissel, Veröffentl. Univ. Innsbruck, 86, 25-55, Innsbruck
- Bechstädt, T., 1975: Lead-Zinc Ores Dependent on Cyclic Sedimentation (Wetterstein-Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). Mineral. Deposita, 10, 234-248, Berlin
- Bechstädt, T., 1978: The Lead-Zinc Deposit of Bleiberg-Kreuth (Carinthia, Austria): Palinspatic situation, Paleogeography and Ore Mineralisation. Verh. Geol. B-A. 3, 221-235, Wien
- Bechstädt, T., 1978: Faziesanalyse permischer und triadischer Sedimente des Drauzuges als Hinweis auf eine grossräumige Lateralverschiebung innerhalb des Ostalpins. Jahrb. Geol. B. A., Bd. 121, H 1, 1-121, Wien
- Bertapelle, A., 1954: Probleme und Erfolge in der Wasserhaltungsfrage in Mežica. Montan-Rundschau, 2
- Brandt, A. und Hütschler, C., 1980: Karsthydrologische Kartierung der Petzen, Kärnten, Österreich. Carinthia II, 170/ 90, 161-180, Klagenfurt
- Dolenc, T., Kušej, J., Pezdič, J., 1981: The Isotopic Composition of Oxygen and Carbon in Lead and Zinc Deposits from Northern Karavanke. Mineral Deposits of the Alps, Proceedings of the IV. ISMIDA, Springer Verlag, Special Publication No 3, 176-189, Berlin ...
- Drovenik, M., Pungartnik, M., 1987: Nastanek cinkovo-svinčevega rudišča Topla in njegove značilnosti. Geologija 30, 245-314, Ljubljana
- Dzulynski, S., Sass-Gustkiewicz, M., 1977: Comments on the Genesis of the Eastern-Alpine Zn-Pb Deposits. Mineral Deposita, 12, 219-233, Berlin
- Fabjančič, M., 1965: Razprave na mednarodnem posvetovanju v Mežici 17.11.1964. Rudarsko-metalurški zbornik, 2, 181-184, Ljubljana
- Faninger, E., Štručl, I., 1978: Plutonic emplacement in the Eastern Karavanke Alps. Geologija 21, 81-87, Ljubljana
- Grafenauer, S., 1959: Hidrogeologija in njena uporaba v rudniku Mežici. Rudarsko-metalurški zbornik, 3, 259-288, Ljubljana
- Gospodarič, R., Habič, P., Herzog, U., Ramspacher, P., Štručl, I., Zojer, H., 1989: Hydrogeologische Untersuchungen im Petzenmassiv. Carinthia II, Sonderheft, Klagenfurt (v tisku)
- Holler, H., 1960: Zur Stratigraphie des Ladin im östlichen Drauzug und in den Nordkarawanken. Carinthia II, 150, 63-75, Klagenfurt
- Kostelka, L., 1965: Opažanja in misli o svinčevo-cinkovih orudnenjih v Apneniških Alpah južno od Drave. Rudarsko-metalurški zbornik, 2, 173-180, Ljubljana
- Novak, D., 1962: Kraške pojave v porečju Meže. Geografski glasnik 21, 39-50, Zagreb
- Novak, D., 1974: Osameli kras v podravskem delu SR Slovenije. Acta carsologica 6, 57-78, Ljubljana
- Perna, G., 1973: Fenomeni carsici e giacimenti minerari. Le Grotte d'Italia 4, Vol. IV, 1-72, Bologna
- Schulz, O., 1964: Mechanische Erzanlagerungs-Gefüge in den Pb-Zn Lagerstätten Mežica und Cave del Predil. Berg- und Hüttenm. Mh., 109, 12, 385-389, Wien
- Štručl, I., 1965: Nekaj misli o nastanku karavanških svinčevo cinkovih rudišč s posebnim ozirom na rudišče Mežice. Rudarsko-metalurški zbornik 2, 155-164, Ljubljana
- Štručl, I., 1970: Poseben tip mežiškega svinčevo cinkovega orudnenja v rudišču Graben. Geologija 13, 21-34, Ljubljana

- Štruel, I., 1971: On the geology of the Eastern Part of the Northern Karawankes with Special Regard to the triassic Lead-Zinc-Deposits. *Sedimentology of parts of central Europe*, Guide book, VII, Int. Sediment. Congress, 285-301, Heidelberg
- Štruel, I., 1974: Nastanek karbonatnih kamenin in cinkovo svinčeve rude v anizičnih plasteh Tople. *Geologija* 17, 299-397, Ljubljana
- Štruel, I., 1981: Die Schichtgebundenen Blei-Zinc-Lagerstätten Jugoslawiens. *Mitt. österr. geol. Ges.*, 74/75, 307-322, Wien
- Štruel, I., 1984: Geološke, geokemične in mineraloške značilnosti rude in prikamenine svinčevo-cinkovih orudenenj mežiškega rudišča. *Geologija* 27, 215-327, Ljubljana
- Tufar, W., 1980: Ore Deposits of the Eastern Alps. 8th Internat. Geochemical Explor. Symp., Bundesanst. für Geowissenschaften und Rohstoffe, Excursion Guide, C 6, 1-78, Hannover
- Zorc, A., 1955: Rudarsko geološka karakteristika rudnika Mežica. *Geologija* 3, 24-80, Ljubljana
- Zorc, A., 1957: Diskussionsbeitrag in: Entstehung von Blei-Zinc-erzlagerstätten in Karbonatgesteinen. *Berg- und Hüttenm. Mh* 9, 235, Wien

THE IMPORTANCE OF KARST PROCESSES AT ORIGIN OF NORTH KARAVANKE PB-ZN ORE DEPOSITS

Summary

More and more frequently the role of karst processes is connected to metalogenetic problematics of Pb-Zn orebodies in carbonate rocks. The North Karavanke Mt. ore deposits belong within this frame. The best known and the best explored is Mežica ore deposit where karst processes have played without doubt an important part during the mineralisation but it does not mean that this importance could be generalized to the entire ore deposit or group of them without hindrance.

In the Yugoslav region of northern Karavanke Mt. the Pb-Zn ore deposits appear in different levels of lithostratigraphical sequences of Triassic rocks, namely:

- in Anisian dolomite (Topla)
- in Ladinian-Carnian limestone and dolomite, in so called Wetterstein limestone and dolomite respectively (the main ore deposit of the Mežica mine)
- in Carnian dolomite between 1st and 2nd Rabelj shale (Graben [?] and ore phenomena on Pristava, Marholče on Plat and on Uršlja gora) and
- in Carnian limestone above the 3rd Rabelj shale (ore phenomena on Uršlja gora)

There is no connection among the orebodies of cited levels, they are separated by impermeable mudstone and marls even. Lithostratigraphic vertical distance between the lowest and the highest orebody is about 1500 m. The rocks in mentioned levels are shallow water sediments.

The fact, that a big part of Pb-Zn orebodies in Wetterstein limestone occurs along the black breccia, designing in the sedimentation cyclothema the start of transgression, evidences that the origin is connected to paleorelief. In Mežica mine the black breccias appear 12 - 25 and about 60 m below the first Rabelj shale. During the sedimentation interruptions the cracks and hollows, here and there holes even, appear in the limestone.

The ground plan of stratabound orebodies is similar to ground plan of karst caves and even their

shape could be compared. Some facts enable to identify their origin, while there are some other facts speaking against but they are not so cogent. In stratabound ore deposits the corroded or clearly drawn surfaces of lateral walls as are seen in recent caves are usually not found. The lateral transition from mineralised part to non-mineralised part is usually gradual and does not show typical sediments as are found in 8 hours fissures, as are called according to old way of description of dip direction ($8^h = 120^\circ$). Fissures (fissured potholes) were filled up by ore in Triassic, or better in the time when the emersion level with black breccia evolved, distant from the 1st Rabelj shale about 50 - 60 m. Obviously both mineralised systems are approximatively equally old. According to the beds position in the Wetterstein limestone the stratabound ore occupies relatively small thickness of 1 - 4 m, while the fissures extend below breccia for 30 - 40 m, sometimes even more. Stratabound orebodies of this level are usually in dolomite, the 8 hours ones in limestone.

As usually there are different opinions regarding the origin of 8 hours fissures. Some think that they are tectonic and some that they are not. Most of evidences confirm the last statement. A part of karst elements has developed in the recent past but the predominant part is contributed to paleokarst processes.

The reef limestone of Carnian age in Graben mine show the traces of paleokarst processes. In the contact zone of paleogeographic level between the dolomitized reef limestone and bituminous limestone we meet all sorts of mineralized and non-mineralized breccias which origin remains discutable. Different opinions result from different explanation of lithostratigraphic sequences of both units (compare the sketches 2 a and 2 b). The author thinks that the breccias origin could not be generalized on one process only (f.e. karst or hydrothermal karst process, sedimentation, tectonics etc.) but on different processes which are partly complemented. G.Perna (1973) describes the breccias and the sedimentary ore in the hollows of the reef limestone as typical karst sediments, which is quite possible, but according to sedimentation environment, following the reef development, rather questionable. Because of euxinic environment of sea water with high salinity the further reef uplifting was interrupted or laterally displaced. Above the reef limestone, and partly in the hollows within it, mud, different quantities of clay and dolomite, having surely the mineralised impurities, were deposited. On some parts gypsum and anhydrite are found confirming high water salinity. All these rocks could be found in different proportions accumulated in polymictic and monomictic breccias.

Breccia mineralisations appear in Wetterstein limestone too. The most frequently they are bound to the system of Union fault lines and are surely a lot younger than the previously described. The space for mineralisation was created by tectonic processes but later too the ore underwent drastic tectonic changes. The rest was done by hidatogene? solutions, karst water respectively. From other orebodies the Union system (called after the Union mine district) differs after big quantities of calcite in particular. In predominant part of stratabound ore deposits there is a vein composed by 90-95% of dolomite and 5-10% of calcite only, in Union system the relation is just the opposite. The origin of ore deposit in Union system is connected to karst processes, which means the epigenetic mobilisation of lead, zinc, iron and molybdenum from the near rocks or older ore deposits. According to the fact that the Union ore deposit, in spite of being the youngest, have tectonically suffered a lot there is a great possibility that big part of these ore deposits had developed before Pliocene, f.e. in Oligo-Miocene. Thus a little higher water temperatures, evidenced by isotope analyses (T.Dolenc et al., 1981) could be explained. Oligo-Miocene is namely the epoch with the strongest magmatic activity along the near Periadriatic Lincament therefore the temperature gradient was without doubt a lot higher than the actual one.

The karst processes have continued till today, but from Pliocene onwards with more weathering effects because of oxidation processes.

NEKAJ NOVIH PODATKOV O RAVENSKI JAMI NA CERKLJANSKEM

SOME NEW FACTS ABOUT RAVENSKA JAMA IN
CERKNO REGION

LADISLAV PLACER - BOJAN OGORELEC -
JOŽE ČAR - MIHA MIŠIČ

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Cerkno):552.54

Placer, Ladislav, Ogorelec, Bojan, Čar, Jože, Mišič, Miha: Nekaj novih podatkov o Ravenski jami na Cerkljanskem

V članku je obravnavana geologija okolice Ravenske aragonitne jame na Ravnah na Cerkljanskem, ki je pri UNESCO zaščitena kot naravni spomenik. Jama leži v karbonatni leči sredi langobardskih piroklastičnih kamnin, ki so hkrati tudi izvor magnezijevih ionov za kristalizacijo aragonita. Sedanje razmerje med Mg^{++} in Ca^{++} ioni ne kaže na aragonitno fazo kristalizacije.

Ključne besede: geološka zgradba, razmerje Mg/Ca, aragonitni kapniki, Ravenska jama, Slovenija

Abstract

UDK 551.442(497.12 Cerkno):552.54

Placer, Ladislav, Ogorelec, Bojan, Čar, Jože, Mišič, Miha: Some New Facts about Ravenska jama in Cerkno region

The geology of vicinity of the aragonite cave Ravenska jama near Ravne in Cerkno region, protected by UNESCO as natural monument is presented in the article. The cave lies in carbonate lense among Langobardian pyroclastic rocks which present the origin of magnesium ions for aragonite crystallization. The actual rate between Mg^{++} and Ca^{++} ions does not evidence the aragonite phase of crystallization.

Key words: geological setting, Mg/Ca relation, aragonite speleothem, Ravenska jama, Slovenia

Naslov - Address

Dr. Ladislav Placer, dipl.ing.geol.

Dr. Bojan Ogorelec, dipl.ing.geol.

Miha Mišič, dipl.ing.geol.

Geološki zavod Ljubljana

Dimičeva 16

YU - 61000 Ljubljana

Dr. Jože Čar, dipl.ing.geol.

RE - Rudnik živega srebra Idrija

Kapetana Mihevcva 15

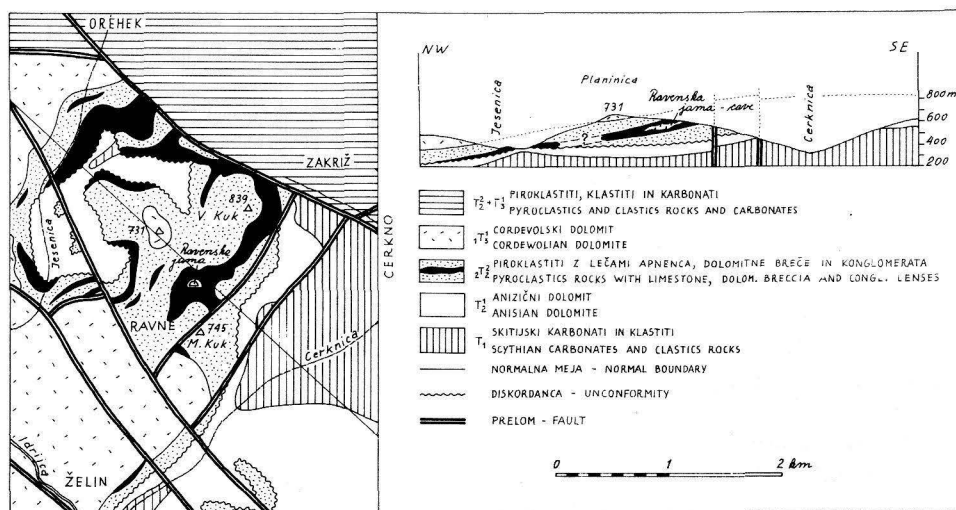
YU - 65280 Idrija

Po detajlnem kartiranju cerkljanskega ozemlja v okviru raziskav širše okolice idrijskega rudišča v merilu 1:10.000 (L. Placer, J. Čar et alii, 1977) in po kartiranju za Osnovno geološko karto SFRJ, lista Tolmin in Videm (Udine) v merilu 1: 25.000 (S. Buser, 1986, 1987) je čas, da podamo novo interpretacijo zgradbe Ravenske planote med potokoma Cerknica in Jesenice (Orehovška grapa), kjer leži tudi Ravenska aragonitna jama. Osnovne podatke o njenem odkritju, morfologiji, genezi, geologiji in mineralogiji so podali D. Kuščer, R. Savnik in J. Gantar (1959), vendar menimo, da bo z vidika novih geoloških raziskav potrebno posvetiti mnogo časa in truda vprašanju geneze jamskih prostorov, njihovim sedimentom in kristalizaciji kalcita ter aragonita. V tem sestavku bomo podali le geološke osnove za take raziskave.

Zaradi razumevanja problematike in same po sebi zanimive geneze pogledov na sorazmerno enostavno zgradbo obravnavanega ožjega območja, si oglejmo interpretacije starejših raziskovalcev. Prvi je ozemlje celovito geološko obdelal v merilu 1:75.000 F. Kossmat (1909, 1910) in ugotovil werfenske (skitijske) sklade ob Cerknici, školjkoviti apnenec (anizični dolomit) nad njim in wengenske (langobardske) sklade z vulkanskimi kamninami, ki naj bi gradile Kuk ter izdajale kot erozijska krpa tudi v zgornjem delu Orehovške grape, po kateri teče Jesenica. B. Berce (1958, 1959) je pri kartiranju v merilu 1:25.000 prvi ugotovil kasijanski (cordevolski) dolomit na Ravenski planoti na Planinici in v Orehovški grapi. Za apnenec, v katerem leži Ravenska jama pa je menil, da leži na vulkanski skladovnici in mu tako pripisal kasijansko starost. D. Kuščer et alii (1959) je v poglavju o geološki zgradbi prezrl vulkanske kamnine v Orehovški grapi, za apnenec, v katerem leži Ravenska jama pa je menil, da leži sredi piroklastične skladovnice. Po njem naj bi piroklastiti pod apnencem bili wengenske starosti, apnenec je uvrstil v kasijan, piroklastitom nad njimi in klastičnim kamninam okoli Želina je pripisal karnijsko starost (jul, tuval), ves dolomit pregledanega ozemlja pa je uvrstil v norij.

Za potrebe širših raziskav idrijskega rudišča je bilo Cerkljansko kartirano na topografski osnovi 1:10.000 (L. Placer, J. Čar et alii, 1977). V tem članku bomo uporabili podatke tega kartiranja, ker so posneti na karti največjega merila in ker so podprti s številnimi paleontološkimi dokazi, ki so bili zbrani pri takratnem kartiranju, ali pa so povzeti po B. Bercetu (1958, 1959). Podatki za Osnovno geološko karto SFRJ (S. Buser, 1986, 1987) so delno posneti po L. Placerju, J. Čarju et al. (1977), v večji meri pa podaja avtor lastno interpretacijo. Razlike bomo obravnavali med tekstom. Geokemične in mineraloške podatke ter njihovo interpretacijo sta prispevala B. Ogorelec in M. Mišič.

Naša interpretacija je podana na sl. 1. Najstarejši skladi med Jesenico in spodnjo Cerknico pripadajo skitijskim plastem, meljevcu, oolitnemu apnencu, dolomitu in laporastemu apnencu, ki so bile na območju Cerknega dokazane s *Pseudomonitis austriaca*, *P. inaequicostata*, *Anodonotphora canalensis*, *A. elongata*, *A. fassaensis*, *Naticella costata* in *Pecten sojalis* (B. Berce, 1958, 1959). Skitijske kamnine nastopajo tudi v okolici Želina in ob zgornji Jesenici v Orehovški grapi.



Sl.1 Geološka karta in profil preko Ravenske planote

Fig.1 Geologic map and cross-section across Ravne plateau

Anizijski dolomit in apnenec nad skitijem nastopata ob Cerknici in Jesenici. Na obeh koncih je bila v apnencu in dolomitu najdena *Meandrospira dinarica*, ki dokazuje anizijsko starost teh kamnin.

Na aniziju ležijo diskordantno odloženi pisani langobardski skladi, ki jih v spodnjem delu gradita pretežno kremenov keratofir in porfir ter njuni tufi, srednji del sestavljajo pretežno keratofir, porfir in porfirir ter njihovi tufi z redkimi diabaznimi spilitnimi izlivi, zgornji del pa pretežno porfirski in diabazno spilitni različki. Med predorninami in njihovimi tufi nastopajo tudi tufiti in laporji ter obsežne karbonatne leče iz apnenca, dolomitne breče in apnenčevega konglomerata. V najvišjem delu te skladovnice najdemo tudi črni glinovec v družbi s črnim apnencem. V laporastem apnencu pri Planinici, torej v zgornjem delu langobardske skladovnice, so bile najdene školjke *Daonella cf. badiotica*, *D. cf. taramelli* in *Posidonomya wengensis* (B. Berce, 1958, 1959), tako da je zgornji del teh skladov dokazano langobardske starosti, medtem ko bi spodnji del lahko pripadal fassanski podstopnji.

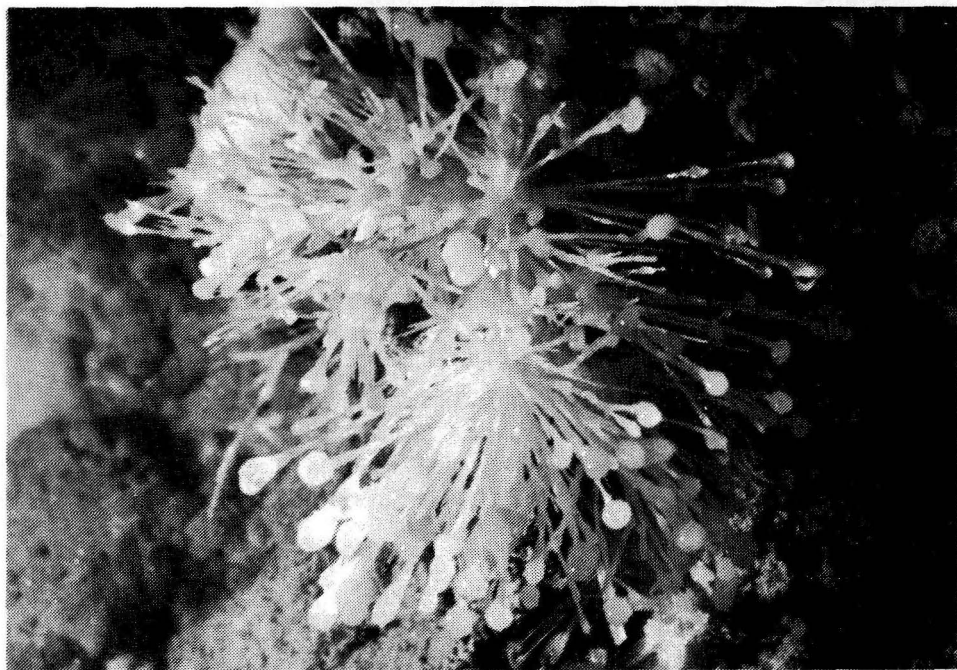
Langobardske sklade prekriva svetel zrnat dolomit, ki mu po superpoziciji pripisujemo cordevolsko starost. Skladi severno od preloma med Cerknim in Orehkom pripadajo pretežno psevdoziljski in amfiklinski formaciji ter njuni talnini in krovlini.

Geološka karta na sl. 1 je dopolnjena s profilom v smeri NW–SE, kjer je opisano zaporedje kamnin lepo vidno. Generalno vpadajo plasti proti severozahodu, zato najdemo jugovzhodno od tod vse starejše sklade do permokarbonskih klastitov, v severozahodni smeri pa vse mlažje do krednih na Ponikvah.

Na Osnovno geološko karto, lista Tolmin in Videm (Udine) S. Buser (1987) ni vrisal

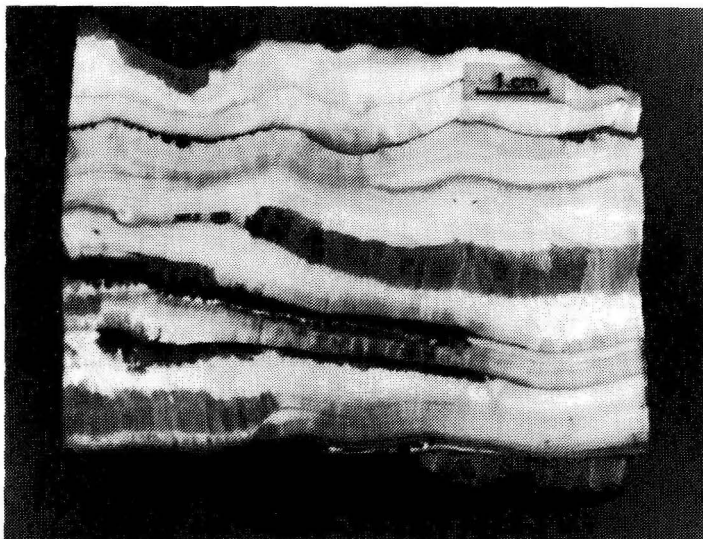
anizijskega dolomita v Orehovski grapi, čeprav je tu dokazan s foraminifero *Meandrospira dinarica*, temveč je delu tega dolomita pripisana cordevolska starost. Vendar so vmes lepo razviti langobardski skladi. Meja med anizijem in langobardom je po tej interpretaciji narivna ploskev, tako da so langobardske in cordevolske kamnine narinjene na anizijske. O obstoju narivne ploskve nimamo nobenega dokaza, nimamo pa tudi neposrednega dokaza o diskordanci, vendar menimo, da je varianta z diskordanco bolj verjetna, saj kaže nanjo sam razvoj langobardskih skladov, velika razsežnost sorazmerno tanke skladovnice langobardskih skladov na prostoru med Cerknim in Idrijo ter končno vprašljivo narivanje mlažjih skladov na starejše, kar bi bila v Zunanjih Dinaridih strukturna posebnost.

Ravenska jama je razvita v največji karbonatni leči langobardske skladovnice, ki leži pod Velikim Kukom. Sestavljajo jo dolomitna breča, mikrosparitni, biomikrosparitni, biomikritni in biopelmikritni apnenec sive do temno sive barve, ki je bolj ali manj rekristaliziran in ponekod delno silificiran. V sami leči se pojavljajo tudi vključki tufa, tufskega peščenjaka in laporja. Vhod v jamo je na koti 703 m, najgloblji poznani del pa na koti 682.5 m približno 70 m severno od vhoda (D. Kuščer et al., 1959, sl. 1). Danes je jama poplavljen le občasno, zato



Sl.2 Aragonitni ježek iz Ravenske jame, značilna oblika igličaste kristalne kopače z neobičajnimi odebelitvami konic (Foto Rafael Podobnik)

Fig.2 Aragonite cluster from Ravenska jama, a typical form of needlelike crystal body with unusually thickened nibs (Photo by: Rafael Podobnik)



Sl.3 Menjavanje aragonitnih in kalcitnih plasti v sigo iz Ravenske jame (Foto Ciril Gantar)

Fig.3 The alternating of aragonite and calcite beds in the flowstone from Ravenska jama (Photo by: Ciril Gantar)

preseneča razmeroma obsežen jamski pretočni sistem, ki je po našem mnenju nastal v bistveno drugačnih razmerah kot so sedanje. Domnevamo, da je v starejših erozijskih fazah cordevolski dolomit prekrival dosti večji prostor kot danes, tako tudi Kuk in lečo apnenca, v katerem je Ravenska jama. Le na ta način je mogoče razložiti tako obsežen sistem kanalov, ki leži danes na vrhu sicer širokega slemena med Velikim in Malim Kukom.

Danes se vode iz karbonatne leče, v kateri je Ravenska jama, po J. Janežu (1988) izliva jo pretežno v izviru v Vidršku jugozahodno od Ravenske jame na koti 650 m. Izvir je preli ven, zato se del vode verjetno pretaka tudi v nižje ležeče izvire proti Orehovski grapi.

Posebnost Ravenske jame, zaradi katere je ta znana daleč po svetu in uvrščena v register naravne dediščine pri UNESCO, so aragonitni kapniki in iglice. Morfolološko so jamske mineralne novotvorbe podrobno opisali že D. Kuščer in sodelavci (1959). Ločili so aragonitne kapnike, iglice in sigo ter kalcitne kapnike in sigo.

V okviru naših raziskav so nas zanimali predvsem vzroki, zaradi katerih se izloča poleg kalcita tudi aragonit. Zato smo mineralogijo karbonatnih tvorb raziskali z rentgensko difrakcijsko metodo in preliminarно analizirali kemizem jamskih vod.

Aragonit je v kraških jamah precej redek pojav. Najbolj razširjen je v jugozahodnem delu Združenih držav Amerike in v Mehiki (J.W. Murray, 1954; G.W. Moore, 1956), v Evropi pa v nekaterih predelih južne Francije, Španije in na Češkem (R. Fischbeck, 1974). V Sloveniji je aragonit poleg Ravenske jame znan še iz Križne jame, kjer se pojavljajo posamezni drobni kapniki v tistem delu jame, ki prečka dolomitne plasti (R. Fischbeck, 1974) in iz Kamniške jame.

Vzrok, da se namesto kalcita, kot stabilne mineralne modifikacije karbonatnih mineralov, izloča aragonit, so geologi in jamarji iskali prvotno v različni temperaturi raztopin in njihovi nasičenosti s CO_3^{--} , pri kateri naj bi se izločali minerali. Tako naj bi se po G.W.Mooru (1956) izločal pri temperaturah pod 15°C kalcit, pri višjih temperaturah pa aragonit. To domnevo so mineralogi v zadnjih letih ovrgli. Tudi D. Kuščer in sodelavci (1959) pri interpretaciji izločanja aragonita v Ravenski jami zavračajo to teorijo, ker temperature v jami ne dosežajo 15°C . Na podlagi številnih meritev kemizma jamskih vod, mineraloških študij kapnikov in sig ter eksperimentalnih metod so geologi v zadnjih desetletjih razvili novo teorijo izločanja aragonita, ki temelji na razmerju Mg/Ca v vodi in jamski kapnici (F. Lippman, 1960; G. Irion et G. Müller, 1968; R. Fischbeck et G. Müller, 1971; G. Müller et al., 1972). Pri razmerjih Mg/Ca pod 1,5 se izloča nizkomagnezijski kalcit, ki vsebuje do 5 mol % MgCO_3 . Take "kalcijske" vode so normalne za apnenčevo kraško okolje, tako pri nas kot v svetu. Pri višjih razmerjih (Mg/Ca 1,5 – 3) se izloča visokomagnezijski kalcit s 5 – 20 mol % MgCO_3 , pri razmerjih $\text{Mg}/\text{Ca} > 3$ ("magnezijske" vode) pa aragonit.

Analize kapnikov in sige kažejo, da se v Ravenski jami izločata dve karbonatni mineralni fazi – visokomagnezijski kalcit z 8 – 10 mol % MgCO_3 in aragonit. V plasteh sige se oba minerala menjavata, zaradi česar kažeta laminirano teksturo. Aragonit je snežno bele barve. Nastopa v več mm dolgih iglicah z žarkovito strukturo, kalcit pa je prozoren do umazano bel in se javlja v do nekaj desetinkah mm velikih zrnih subhedralne oblike. Kontakti med obema mineralnima fazama so vedno ostri, tako da ne dobimo mešanja aragonita in kalcita v istem kapniku ali isti lamini sige. To kaže na različno kemično sestavo kapnice in jamske vode v posameznih predelih jame oziroma v posameznih fazah izločanja karbonatnih mineralov. V aragonitnih kapnikih smo z rentgensko difrakcijo zasledili, da se poleg aragonita v sledovih izloča še nek drug mineral iz skupine sulfatov, katerega pa zaradi nizke vsebnosti še nismo mogli dokončno določiti.

Rast sige je bila občasno prekinjena. V tankih skorjicah rjave barve, ki nakazujejo te prekinitev (občasna daljša sušna obdobja in detritični nanos) se poleg kalcita javljajo še drobna zrna kremenca, dolomita, goethita ter minerali glin – illit in klorit/kaolinit.

Kemično smo raziskali štiri vzorce jamske vode in kapnice. Njihova sestava je podana v tabeli 1.

Iz analiz je razvidno, da je vsebnost Ca^{++} in Mg^{++} ionov v jezerski vodi in v kapnici iz kalcitnih kapnikov relativno visoka in se molarno razmerje Mg/Ca giblje med 0,50 in 0,58 (povprečne kraške vode apnenčevih terenov imajo razmerje Mg/Ca okoli 0,2 – 0,5). Kapnica iz aragonitnih kapnikov ima višje molarno razmerje Mg/Ca (0,67 in 0,73), ki pa je še vedno v mejah "kalcitnega polja" izločanja karbonatov. Ker glede na velikost Ravenske jame in na njene tektonske značilnosti ne moremo sklepati na več izvorov jamske vode z istočasno različno kemično sestavo oziroma razmerjem Mg/Ca , sklepamo, da se kemizem kapnice v določenih obdobjih spreminja in s tem koncentracije raztopljenih Ca^{++} in Mg^{++} ionov.

Izvor Mg^{++} ionov za povišano razmerje Mg/Ca , pri katerem se lahko izloča aragonit, so okolni tufi ladinjske starosti in dolomitna breča, iz katere je, poleg apnenca, zgrajena karbo-

natna leča, v kateri je Ravenska jama. S tega stališča je zanimiva analiza količine Mg^{++} in Ca^{++} ionov v mg/l v zajetjih iz piroklastitov na Ravenski planoti (J. Janež, 1988). V zajetju za Gorenje Ravne nad jamo je analiza septembra 1987 pokazala 3,0 mg/l Mg^{++} in 13,6 mg/l Ca^{++} , novembra istega leta pa 9,1 mg/l Mg^{++} in 8,2 mg/l Ca^{++} . V vseh ostalih zajetjih ali izviri pod jamo je količina Mg^{++} ionov bistveno manjša od količine Ca^{++} ionov.

Vzorec/Analiza Sample/Analyses	jezerce cave lake	kalcitni kapnik calcite stalactite	aragonitni kapnik aragonite stalactite	
			1	2
Ca trdota ($^{\circ}$ n.t.) hardness ($^{\circ}$ dH)	7,20	8,45	9,0	8,0
Mg trdota ($^{\circ}$ n.t.) hardness ($^{\circ}$ dH)	4,05	5,05	6,6	5,4
pH	7,68	7,86		
sulfat-sulphate (mg/l)	9,5		33,7	16,5
Na (mg/l)	5	3		
K (mg/l)	2	1		
CaO (mg/l)	51,5	60,4	90	80
MgO (mg/l)	17,6	21,9	47,5	38,9
Ca^{++} (m mol/l)	0,92	1,08	1,61	1,43
Mg^{++} (m mol/l)	0,54	0,54	1,18	0,96
Mg/Ca molarno razmerje molar ration	0,58	0,50	0,73	0,76

Analyze

Analysed by: Laboratorij REK E.Kardelj, Trbovlje

Iz navedenih podatkov lahko sklepamo, da kaže odnos v recentnih vodah na povišano vsebnost magnezija, ki pa ni zadostna za izločanje aragonita, vendar razlike v koncentraciji Mg^{++} ionov v zajetju nad Gorenjimi Ravnami kažejo na to, da je povečanje koncentracije teh ionov mogoče. Če bi bili ti pogoji v določenem obdobju stalni in dovolj intenzivni, bi se verjetno izločal aragonit. Da bi prišli do kvalitetnih podatkov, bi morali večkrat analizirati vodo v Ravenski jami v sušnih in deževnih obdobjih, natančno skartirati jamo ter določiti razporeditev aragonita v prostoru glede na litologijo in strukturo jame.

LITERATURA

- Berce, B., 1958: Poročilo o geološkem kartiranju ozemlja Cerkno - Žiri v letu 1958. Tipkopis, Arhiv Geološkega zavoda v Ljubljani
- Berce, B., 1959: Poročilo o geološkem kartiranju na ozemlju Cerkno - Žiri - Idrija - Rovte v letu 1959. Tipkopis, Arhiv Geološkega zavoda v Ljubljani
- Buser, S., 1986: Tolmač Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm (Udine). Zvezni geološki zavod, Beograd
- Buser, S., 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm (Udine). Zvezni geološki zavod, Beograd
- Fischbeck, R., Müller, G., 1971: Monohydrocalcite, Hydromagnesite, Nesquehonite, Dolomite, Aragonite and Calcite in Speleothems of the Frankische Schweiz, Western Germany. Contr. Mineral. Petrol., 33, 87-92, Berlin
- Fischbeck, R., 1974: Mineralogische und geochemische Untersuchungen an carbonatischen Speleothemen mit ergänzenden Mineralsynthesen zur Deutung ihrer Genese. Doct. Thes., Univ. Heidelberg, 1-119, Heidelberg
- Irion, G., Müller, G., 1968: Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany. In: Müller, G., Friedman, G.M. (Hrsg.), Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe. Springer Verlag, 157-171, Berlin
- Janež, J., 1988: Raziskave vodnih virov na območju Raven in Zakriža. 1. del. Tipkopis, Arhiv Rudnika živega srebra v Idriji
- Kossmat, F., 1909: Geologische Spezialkarte der Österr.-Ungar. Monarchie, Bischoflack und Idria. Geol.R.A., Wien
- Kuščer, D., R. Savnik, J. Gantar, 1959: Ravenska jama. Acta carsologica, 2, 7-25, Ljubljana
- Lippmann, F., 1960: Versuche zur Aufklärung der Bildungsbedingungen von Kalzit und Aragonit. Fortschr. Mineral., 38, 156-161, Jena
- Moore, G.W., 1956: Aragonite speleothems as indicator of paleotemperature. Amer. J. Sci., 254, 746-753, New Haven
- Murray, J.W., 1954: The deposition of calcite and aragonite in caves. J. Geol., 62, 481-492, Chicago
- Müller, G., G. Irion, U. Förstner, 1972: Formation and Diagenesis of Inorganic Ca-Mg Carbonates in the Lacustrine Environment. Naturwissenschaften, 59, 158-164, Berlin
- Placer, L., J. Čar et alii, 1977: Triadna tektonika okolice Cerknega, II. faza, Mezozoik v Sloveniji. Tipkopis, Arhiv Inštituta za geologijo FNT, Univerza v Ljubljani

SOME NEW FACTS ABOUT RAVENSKA JAMA IN CERKNO REGION

Summary

The famous Ravenska aragonite cave near Ravne above Cerkno near Idrija in West Slovenia developed in big lense of limestone and dolomite breccia among the Langobardian pyroclastites (Fig. 1). The cave is 352 m long and 20.5 m deep and a part of lower channel is periodically flooded (D.Kuščer, R.Savnik, J.Gantar, 1959). Because of relatively big system of passages without virtual background

nowadays we suppose that the cave developed in the period when the Langobardian pyroclastites were covered by porous Cordevole dolomite which is still preserved in form of erosional patch on Planinica.

The analysis of cave stagnant water and percolating water (Table 1) has shown that the recent water is richer with Ca^{++} than Mg^{++} ions therefore actually calcite is deposited probably. The water analyses in the catchment in Langobardian pyroclastites above the cave in the period of two months, in September 1987 and in November of the same year, have shown for the first time smaller Mg^{++} ions content and for the second time bigger content than are Ca^{++} ions. Therefore we infer that the increase of Mg^{++} ions concentrations is possible and the origin of magnesium are Langobardian pyroclastites. We think that aragonite could be deposited if the concentration of Mg^{++} ions prevails the Ca^{++} ions for longer time ($\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++} > 3$). The mentioned conditions are presented by F.Lippman (1960), R.Fischbeek (1974) and G.Müller et al. (1972).

In the cave aragonite flowstone alternating with calcite flowstone, aragonite and calcite speleothems and aragonite needles are found. To get the qualitative data about the conditions and mechanism of crystallisation of one and another mineral we have to analyse the cave water frequently, during dry and rain periods, we have to geologically map the cave passages and we have to define the relation among the places where aragonite is deposited and cave lithology and structure.

MINERALOGIJA TEKTONSKE GLINE V PIVKI JAMI

MINERALOGY OF TECTONIC CLAY IN PIVKA JAMA

NADJA ZUPAN

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Pivka):552.52

Zupan, Nadja: Mineralogija tektonske gline v Pivki jami

Do sedaj je prevladovalo mnenje, da so v kraških jamah v prelomne cone infiltrirane ilovice s površja, posebno rdeče, ali pa, da jih je vanje naneseł podzemni vodni tok, predvsem rumene ilovice. S preiskavami sem ugotovila, da v Pivka jami v prelomnih conah nastopajo tektonske gline, ki so nastale v notranji prelomni coni. Te gline so skoraj izključno kalcitne sestave, saj je jama v krednih apnencih.

Ključne besede: jamske ilovice, mineralogija, Pivka jama, Slovenija

Abstract

UDK 551.442(497.12 Pivka):552.52

Zupan, Nadja: Mineralogy of tectonic clay in Pivka jama

Till now the opinion predominated that in the fault zones in karst areas loams are infiltrated from the surface, red ones in particular, or that they were transported in there by the underground water flows, yellow loams in particular. By analyses I've established that in fault zones in Pivka jama tectonic clays occur, formed in internal fault zone. These clays are almost exclusively of calcitic composition, because the cave lies in Cretaceous limestones.

Key words: cave loams, mineralogy, Pivka jama, Slovenia

Naslov - Address

Nadja Zupan, dipl.ing.geol., raziskovalni asistent

Inštitut za raziskovanje krása ZRC SAZU

66230 Postojna, Titov trg 2

Jugoslavija

UVOD

Jamske ilovice (I.Gams,1973,10) so zanimive zato, ker nam njihova mineralna sestava pove, iz kakšne kamnine so nastale, glede na to pa lahko določimo njen izvor in smer transporta, kar pa je pomembno za samo speleogenezo jame. V jamah sem pri svojem delu zasledila tri vrste ilovice in to:

- ilovico, ki je prišla v jamo po razpokah s pomočjo prenikajoče padavinske vode;
- ilovico, ki je nastala ob prelomnih ploskvah pri trenju, to je v bistvu tektonska glina (L.Placer,1982). Glina se imenuje zaradi velikosti delcev, ne zaradi mineralne sestave, in
- poplavno ilovico, ki pride v podzemlje z vodnim tokom.

Te ilovice sem ločila na recentne, v jamo jih nanaša sedanji vodni tok, in fosilne, v jamo so bile prinesene v preteklosti.

Glede na mineralno sestavo teh ilovic lahko določimo izvirno področje materiala, ki sestavlja ilovico in s tem lahko predvidevamo smer vodnega toka v geološki preteklosti in danes. Ilovica, ki je prišla v jamo ob prelomnih conah in razpokah s pomočjo vertikalnega prenikanja deževnice, nam kaže mineralno sestavo področja nad jamo, samih kamnin kot tudi preperelih ostankov od površja do rovov. Zelo zanimiva je tudi ilovica, ki nastaja ob prelomnih ploskvah in material zanjo nastane pri razpadu, mehanskem in kemičnem, tamkajšnjega apnenca.

V članku sem se omejila na ilovice, ki nastopajo v prelomih v Pivki jami. Za primerjavo sem obdelala še laminirano ilovico in pesek iz Partizanskega rova med Postonjsko jamo in Črno jamo, ter preperino nad Pivko jamo. Posebno pozornost sem posvetila tankim navpičnim polam ob močni prelomni coni v umetnem predoru med Pivko jamo in Črno jamo.

Ilovnate in prodne zasipe v Postonjskem jamskem sistemu je obdelal R.Gospodarič (1976) v svoji doktorski disertaciji. Ukvarjal se je predvsem s prodnimi zasipi (apnenčev prod, prod belega in pisanega roženca) in pasovitimi ilovicami, ki jih je v podzemni svet prinesla reka Pivka. Ilovce ob prelomih v Umetnem rovu med Postonjsko in Črno jamo je preučeval v zvezi z neotektoniko (R.Gospodarič,1963). Ugotovil je, da so na ilovici opazne tektonske raze, posebno veliko jih je na rdeči ilovici, ki naj bi jo med rumen flišni pesek in skalo (steno, strop) prinesla tekoča ali zastajajoča voda iz drugih delov jame, lahko pa jo je tja prinesla prenikajoča voda skozi kamin.

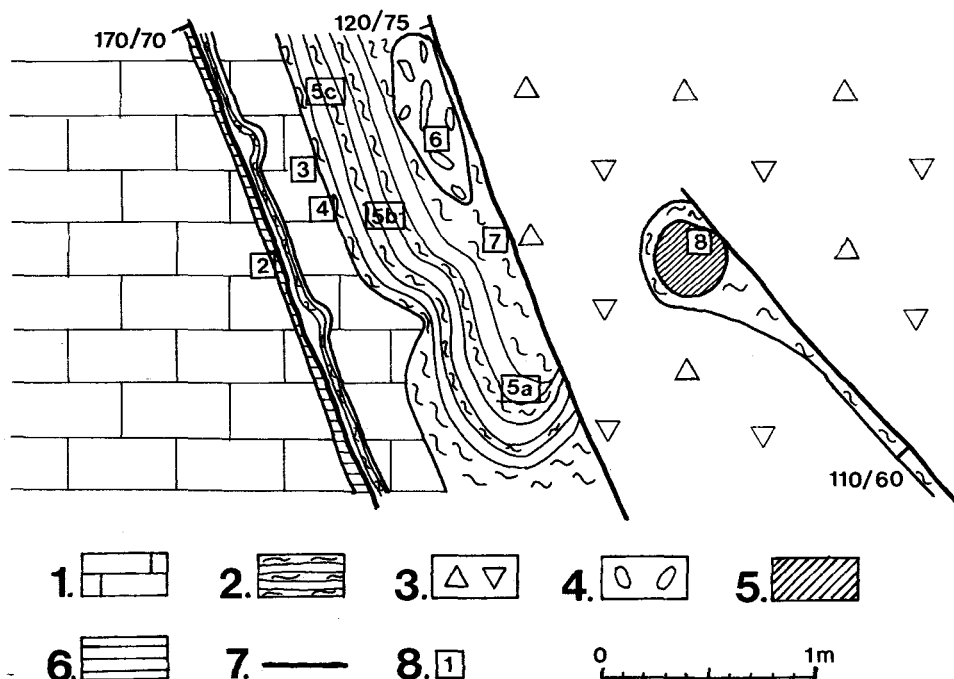
Nevezane mehanske sedimente (peske in ilovice) Postojnskega jamskega sistema so opisovali v svojih delih tudi arheologi, ki so nanje naleteli pri izkopavanjih (S.Brodar,1966).

Mikroskopske zbruske sem obdelala na mikroskopu Leitz, rentgenske difraktograme pa so mi posneli na Inštitutu za geologijo, VTOZD Montanistika na rentgenskem difraktometru znamke Philips. Pogoji snemanja so bili naslednji: rentgenski žarki $Cu_{K\alpha}(\lambda = 1,5418 \times 10^{-1} \text{ nm})$ pri napetosti 40 kV in toku 20 mA, vključen je bil Ni filter,

grafitni monokromator in proporcionalni števec. Območje snemanja pri kotu 2θ je bilo od 4° do 70° , hitrost goniometra je znašala $2\theta = 2^\circ/\text{min}$ in hitrost papirja 20 mm/min . Obseg zapisa je bil 4×10^2 , odboji, katerih jakosti so presegale obseg zapisa so bili ponovno posneti z ustrežno večjim obsegom zapisa 1×10^3 in 2×10^3 , časovna stalnica je bila ves čas 4.

NAHAJALIŠČA VZORCEV

Vzorke sem vzela v področju postojnskega jamskega sistema in nad njim. Geologijo tega ozemlja sem povzela po Osnovni geološki karti 1 : 100 000, list Postojna (1967) in pripada-



Sl. 1: Prelomna cona v umetnem tunelu med

Pivko jamo in Črno jamo

1. biomicritni apnenec
2. tektonske lamine z glino
3. tektonska breča
4. tektonska breča, kalcitizirana
5. povit blok apnenca
6. rahlo prekrystaljen apnenec
7. močna prelomna ploskev
8. vzorci

Fig. 1: Fault zone in artificial tunnel between

Pivka jama and Črna jama

1. biomicritic limestone
2. tectonic laminae with clay
3. tectonic breccia
4. tectonic breccia, calcitized
5. wrapping block of limestone
6. lightly recrystallized limestone
7. strong fault plane
8. samples

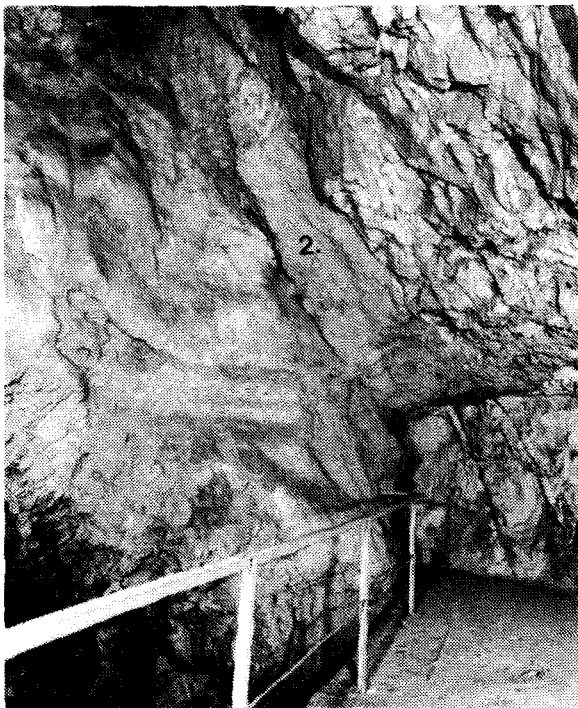
jočem tolmaču (M.Pleničar,1970) ter J.Čarju in R.Gospodariču (1984). Pivko jamo je izoblikovala reka Pivka v zgornje krednih apnencih. Spodaj leže debeloskladoviti sivi in svetlo sivi apnenci z rudisti turonijske starosti. Nad tem pa leži sivi in svetlosivi debeloskladovit apnenec z bolj ali manj enakomerno porazdeljenimi preseki foraminifer rodov *Keramospherina*, *Dicyclina* itd., senonijske starosti.

Vzorke sem vzela iz prelomne cone omejene z dvema prelomnima ploskvama, ki mejita na levi strani na nepoškodovano kamnino, na desni pa na zdrobljeno cono. Vpad vmesne razpoklinske cone je 170/70(Slika 1)in glede na to smer sem vzela orientirane vzorce za pre-sevno optično mikroskopijo in rentgensko difraktometrijo. Z istima metodama sem obdelala še rumeno ilovico iz neke druge prelomne cone v Pivki jami, naplavino rumene ilovice in peska iz manjše zasute kraške votline v Partizanskem rovu in rdečo ter rumeno preperino nad Pivko jamo.

OPIS VZORCEV

VZOREC 1

Na sredi umetne poti od Pivke jame proti Črni jami je močna pretrta cona široka okrog 1 m, ki je omejena z dvema prelomnima ploskvama. V coni je močno zdrobljen material, med



Sl. 2: Prelomna cona v
Pivki jami

- 1. prelomna ploskev
- 2. zdrobljena kamnina

Fig. 2: Fault zone in
Pivka jama

- 1. fault plane
- 2. crushed rock

katerim je rumena ilovica. Ob sami prelomni ploskvi pa je debelejša plast rumene ilovice, ki predstavlja prvi vzorec (Slika 2). Ilovica je rumene barve (10YR 7/8), in ne vsebuje grobozrnatega materiala (koščkov apnenca).

Z rentgensko analizo sem določila naslednje minerale: kalcit v vzorcu prevladuje, saj ga je preko 80%. Sledijo dolomit, približno 5%, kaolinit, goethit in dehidriran halloysit.

Ilovica je glede na mineralno sestavo nastala pri mehanskem in kemičnem razpadu apnenca in je v bistvu tektonska glina. Apnenčeva struktura razpada pod močnejšimi pritiski ob sami prelomni ploskvi in tako nastane tektonska glina.

VZOREC 2



Sl. 3: Bel apnenec z rdečim robom

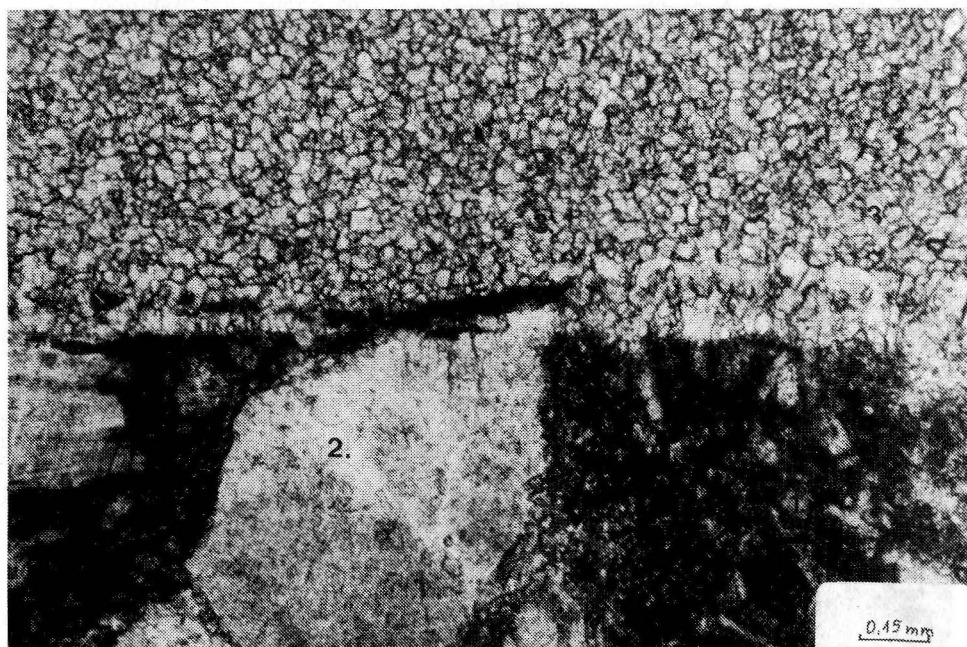
1. "tektonske lamine"
2. tektonska glina

Fig. 3: White limestone with red edge

1. "tectonic lamines"
2. tectonic clay

Apnenec z rdečim robom (Slika 3) sem vzela v močni prelomni coni v umetnem tunelu med Pivko in Črno jamo. Kos apnenca je z leve strani prelomne cone, iz spodnjega bloka, kjer je apnenec tektonsko nepoškodovan. Apnenec je gost, bele barve in ni razpokan. Ob navpični črti prehaja v rdečkasto rjav (7.5YR 6/5) rob. Makroskopsko vidnih fosilov ni, v navpičnih razpokah so vidne sekundarne kalcitne žilice.

Večina vzorca, 70%, predstavlja biomikritni apnenec (packstone). V zbrusku so fragmenti školjčnih lupin veliki do 0,5 mm, ki verjetno pripadajo rudistom. Veliko je tudi odlomkov školjk in fosilnega drobiraja, osnova je mikritna. Vzorec je razpokan v eni smeri, in to vzporedno z glavno smerjo vpada preloma. Nekatere razpoke so zapolnjene s sekundarnim kalcitom, ostale pa so prazne. V vzorcu je vidna prekrystalizacija in rast avtigenih kalcitnih zrn, ki so velika približno 0,1 mm. Vzporedno z razpokami prehaja biomikritni apnenec v popolnoma prekrystaliziran del, v katerem se samo še zazna nekdanja struktura vzorca. Ta del je tudi malo bolj rjavkaste barve, sestavljen pa je iz sparitnih zrn, ki so rahlo obarvana z limonitom, vmes pa so razporejeni tudi glineni minerali, slika 4.



Sl. 4: Prekrystalizacija mikritnega apnenca

1. biomikrit
2. avtigeni kalcit
3. sparit nastal s prekrystalizacijo

Fig. 4: Recrystallisation of micritic limestone

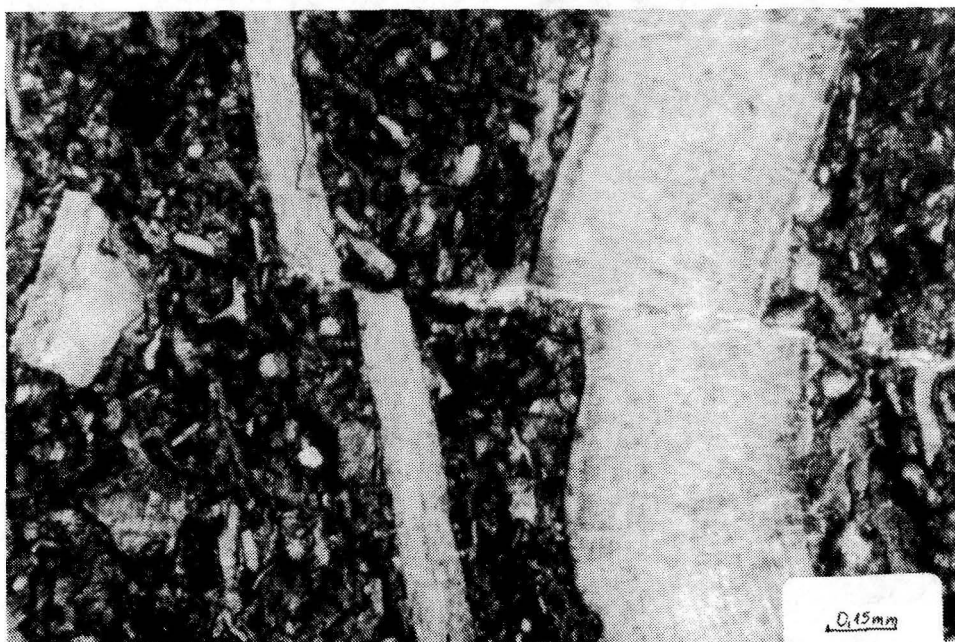
1. biomikrite
2. autigenic calcite
3. sparite formed by recrystallisation

Na temelju makroskopskih in mikroskopskih raziskav lahko rečem, da ta vzorec predstavlja prehod med nerazpokanim apnencem in močno prelomno cono. V zbrusku je lepo vidna smer razpok in nastajanje vzporednih vertikalnih plasti v sami coni ter prekristalizacija mikrita v sparit. Pri prekristalizaciji apnenca so nastala tudi avtigena kalcitna zrna v mikritnem delu vzorca. Pravokotno na razpoke rastejo vertikalno usmerjeni kalcitni kristali, ki so značilni za rast pod pritiski. Glineni minerali so netopni ostanek apnenca in so skoncentrirani po razpokah.

VZOREC 3

Vzorec predstavlja gost bel apnenec s stiliolitnimi šivi, ki se nahaja tik na levem robu prelomne cone. Apnenec je razpokan, v razpokah je rumena ilovica (7.5YR 6/8).

Apnenec je biomikriten (packstone), v katerem je polno polomljenih školjčnih lupin, ki verjetno pripadajo rudistom. V vzorcu so prisotni avtigeni kalcitni kristali, ki so veliki do 0,2 mm. V žilicah nastopajo sekundarni kalcitni kristali. Kamnina je rahlo prekristalizirana (sl.5).



Sl. 5: Biomikritni apnenec s prelomljeno školjčno lupino

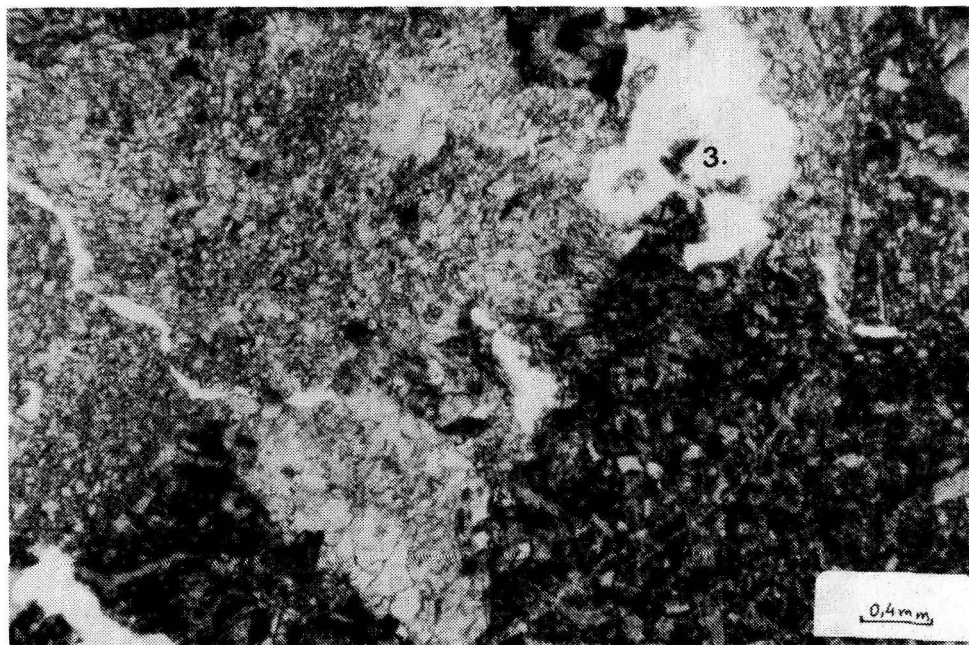
Fig. 5: Biomicritic limestone with broken shell

Apnenec je makroskopsko dokaj nepoškodovan, mikroskopsko je opazen rahel zamik prelomljenih školjčnih lupin. Iz tega sklepam, da ta del ni bil podvržen večjim deformacijam ob premikanju prelomnih ploskev in tudi ni prišlo do prekristalizacije.

VZOREC 4

Vzorec predstavlja odlomke apnenca v rumeni ilovici (7,5YR 6/8) na levi strani prelomne cone. Apnenec je gost, bel, v njem so opazni do 0,5 cm veliki deli fosilov. Prepreda ga več stiliolitnih šivov, v katerih so glineni minerali.

Apnenec je biomikriten (wackstone), manj je pa večjih školjčnih lupin. Vmes so sparitni otoki in večje pore. Sparit je rahlo obarvan z limonitom, vmes je nekaj glinenih mineralov, kar se lepo vidi na sliki 6.



Sl. 6: Biomikritni apnenec z otoki sparita

1. biomikrit
2. sparit
3. pore

Fig. 6: Biomicritic limestone with islands of sparite

1. biomicrite
2. sparite
3. pores

Otoki sparita v vzorcu so nastali s prekristalizacijo mikrita, glineni minerali pa so netopni ostanek apnenca. Do spremembe in porušitve strukture kamnine je prišlo zaradi premikanja in

stiskanja kamnine ob prelomni ploskvi. Nekatere pore so prazne, ostale pa so zapolnjene z glinenimi minerali in goethitom.

VZOREC 5

Vzorec je iz 1 m debele razpoklinske cone, ki ima smer 170/70 in je sestavljena iz približno 1 cm debelih navpičnih pol, med katerimi je rumena ilovica. Te pole proti dnu rova povijajo v desno. Desna stran razpoklinske cone pa je omejena s prelomno ploskvijo na kateri so vidne raze v dveh smereh. Tanke navpične pole so tudi same razkosane z navpičnimi razpokami v katerih je rumena ilovica (10YR 5/8), slika 7.

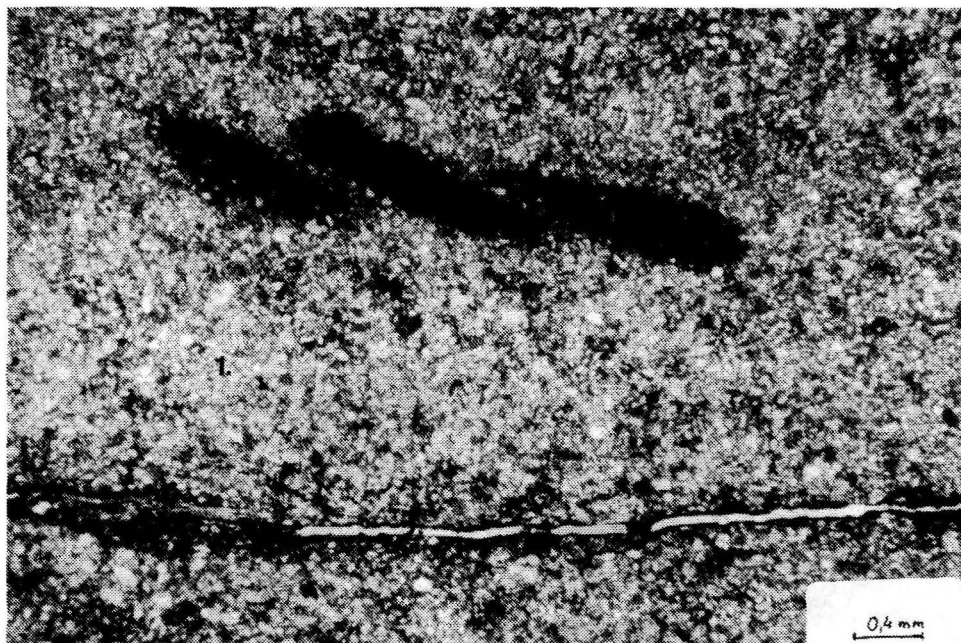


Sl. 7: "Tektonske lamine"

Fig. 7: "Tectonic lamines"

Zbrusek je bil rezan pravokotno na smer razpok. Struktura prvotnega apnenca ni več vidna. Vzorec predstavljajo sparitna zrna, ki so nastala z prekrystalizacijo prvotnega mikritnega

apnenca. Veliko je vzporednih razpok, v katerih so glineni minerali in goethit, tudi sparitna zrna so obarvana rjavo. Sparitna zrna so velika povprečno 90 μm . Vzporedno z razpokami in pod kotom 30° so razporejene leče, velike do 0,9 mm, ki so zapolnjene z neprozornimi drobnimi minerali, slika 8.



Sl. 8: "Tektonske lamine" pod mikroskopom

1. sparit nastal s prekrystalizacijo
2. razpoka
3. neprozorni minerali

Fig. 8: "Tectonic lamines" under the microscope

1. sparite formed by recrystallisation
2. fissure
3. opaque minerals

Iz te razpoklinske cone sem vzela vzorce in jih preiskala z rentgensko difraktometrijo.

Vzorec 5a predstavlja pole sekundarnega kalcita z rumeno ilovico, iz spodnjega dela razpoklinske cone. Lahko rečem, da je ves vzorec sestavljen samo iz kalcita, v sledih pa sta opazna goethit in kaolinit.

Vzorec 5b je iz osrednjega dela razpoklinske cone, predstavljajo ga tanke navpične pole rekristaliziranega apnenca z rumeno ilovico. Vzorec predstavlja kalcit, v sledih sta prisotna kaolinit in goethit.

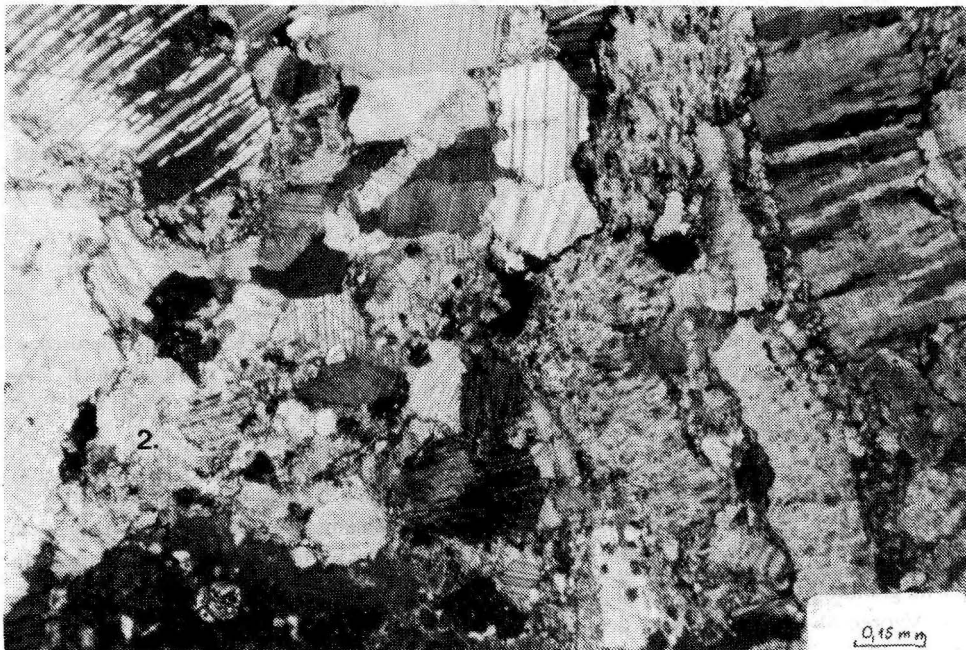
Vzorec 5c je iz zgornjega levega dela cone. Prevladuje kalcit, v sledih je prisotno minimalno goethita in kaolinita.

Glede na mikroskopske in rentgenske preiskave lahko trdim, da so navpične pole in vmesna ilovica nastali s tektonskim premikanjem in stiskanjem primarnega apnenca. Takrat je prišlo do prekristalizacije mikritnega apnenca, rasti avtigenih kalcitnih zrn in nastanka navpičnih razpok, od katerih so se nekatere zapolnile s kalcitnimi kristali, druge z glinenimi minerali, ki so netopni ostanek apnenca.

VZOREC 6

Vzorec se nahaja na zgornjem desnem robu prelomne cone, tik ob prelomni ploskvi z drsami. Makroskopsko je opazna brečasta struktura, kjer so delčki apnenca (veliki nekaj cm) zlepljeni s sekundarnim kalcitom.

V vzorcu so do 1 mm veliki intraklasti iz mikritnega apnenca s foraminiferami. Ti intraklasti, v bistvu koščki apnenca, ležijo v sparitni osnovi. Veliko je tudi avtigenih kalcitnih zrn, ki so dvojčična in razpokana v isti smeri. Precej je tudi por, okrog 5%, in neprozorih drobnorznatih glinenih mineralov, slika 9.



Sl. 9: Breča

1. deli biomikritnega apnenca
2. sekundarni kalcit

Fig. 9: Breccia

1. parts of biomicritic limestone
2. secondary calcite

Rentgenska anali za je pokazala, da je ves vzorec sestavljen iz kalcita, kaolinit in goethit sta prisotna le v sledih.

V bistvu gre tu za zdrobljeno cono, ki je bila kasneje kalcitizirana. Pri tem so se med seboj povezali odkruški apnenca s sekundarnim kalcitnim vezivom.

VZOREC 7

Vzorec predstavlja rdečo ilovico (10YR 5/6), ob prelomni ploskvi z drsami, na desni strani razpoklinske cone. Z rentgensko analizo sem ugotovila, da v vzorcu prevladuje kalcit, ki ga je približno 90%, sledita goethit in kaolinit, vsak po okrog 4%. V sledih so pa prisotni illit, hematit in dehidrirani halloysit.

Rdeča ilovica tik ob prelomni ploskvi je nastala iz rumene ilovice. Rumena ilovica pa nastane, kot sem že v prejšnjih vzorcih ugotovila, ob prelomnih ploskvah pri razpadu apnenca. Po mineralni sestavi sta ilovici popolnoma enaki samo, da rdeča vsebuje v sledih hematit, ki daje ilovici značilno rdečo barvo. Nastanek hematita pa razlagam tako, da se je iz goethita pod pritiski ob tektonskih premikanjih na sami prelomni ploskvi iztisnila voda in je iz goethita nastal hematit.

VZOREC 8

Nekaj metrov naprej od prej vzorčevane razpoklinske cone sta dve prelomni ploskvi, med katerima je blok apneneca močno povit, slika 10. Apnenec je povit in trden, tik na stiku s prelomno ploskvijo, pa je struktura kamnine porušena in prehaja v mehko rumeno ilovico. Makroskopsko pa se vidi na prehodu apnenca v ilovico nadaljevanje iste strukture. Za mikroskopsko analizo sem vzela vzorec kamnine tik na prehodu v ilovico, za rentgensko analizo pa ilovico, tik na prehodu v trdno kamnino.

Vzorec je močno porozen, por je okrog 30%, ostalo pa so sparitna in avtigena kalcitna zrna, velika do 0,2 mm. Prvotna struktura apnenca sploh ni več opazna. Vzorec je bil močno prekristaliziran, slika 11. Rentgenska analiza je pokazala, da v vzorcu prevladuje kalcit. V sledovih so kaolinit, illit in goethit.

Apnenec se je povil ob dveh prelomnih ploskvah, pod pritiski je prekristaliziral. Nastala so sparitna zrna, vmes pa sekundarne pore. Tik ob prelomni ploskvi se je ta struktura porušila in iz trdnega apnenca je nastala ilovica, ki ima enako mineralno sestavo kot apnenec zraven.

VZOREC 9

Da bi ugotovila, koliko ilovice se infiltrira po prelomih v jamo, sem vzela na površju nad Pivko jamo vzorce preperine. Prvi vzorec je predstavljala rdeča preperina nad umetnim tunelom med Pivko in Črno jamo. Preperina je rdeča, barva 5YR 5/3, in je drobnozrnata. Z rentgensko analizo sem ugotovila, da v preperini po količini prevladuje kremen, tik za njim sledi



Sl. 10: Poviti blok apnenca

1. trdna kamnina
2. rumena glina
3. tektonsko zrcalo

Fig. 10: Wrapping block of limestone

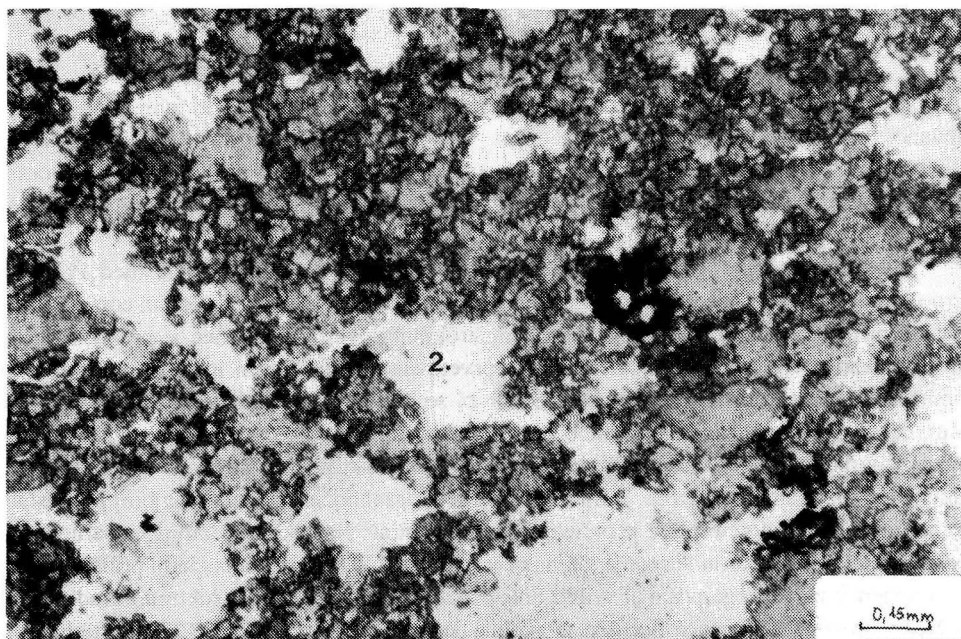
1. firm rock
2. yellow clay
3. tectonic mirror

kalcit in dolomit, vsi trije so približno v istem količinskem razmerju. Sledi plagioklaz, nato kaolinit, klorit, illit in montmorillonit. V sledeh pa sta goethit in hematit.

Taka preperina ni mogla nastati iz kamnin, ki so sedaj na površini v bližnji in okolici Pivke jame. Tako ne morem povedati, odkod je preperina na tem mestu, potrebne bodo še nadaljnje preiskave. Vendar me tokrat ta problem ni zanimal. Mineralna sestava te preperine pa pove, da ob prelomni coni ni prišlo do prenašanja mineralov s površja.

VZOREC 10

Nekaj metrov od rdeče preperine sem vzela še vzorec rumene preperine (10YR 7/8).



Sl. 11: Poviti blok pod mikroskopom

1. sparit
2. pore
3. neprozorni minerali

Fig. 11: Wrapping block under the microscope

1. sparite
2. pores
3. opaque minerals

Rentgenska analiza je pokazala, da je v vzorcu samo kalcit.

Rumena preperina je kalcitni drobir, ki je nastal pri razpadu apnenca. Ta preperina po mineralni sestavi ne more služiti kot sledilo za spiranje mineralov v jamo.

VZOREC 11

Za primerjavo z ilovico ob prelomih sem vzela vzorec rumene ilovice in peska iz zasute votline ob prelomni coni v Partizanskem rovu med Postonjsko jamo in Črno jamo. Tu se že makroskopsko opazi menjavanje plasti rumene ilovice in drobnega peska, ki se v sami ilovici bočno izklinja. Ta tekstura nam kaže, da je ilovico in pesek naplavila tekoča voda.

Z rentgenom sem določila, da v vzorcu prevladuje kremen, okrog 70%, sledi kalcit, muskovit, goethit, kaolinit in albit.

Sama laminacija ter mineralna sestava ilovice in peska, kaže da ju je v podzemlje prinesla Pivka s flišnega povirja.

SKLEP

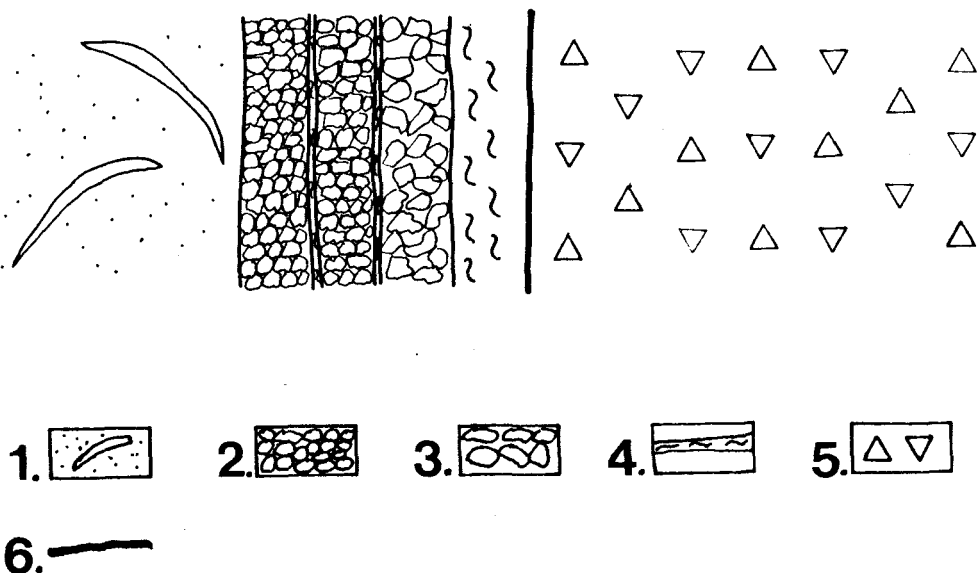
Preiskave so pokazale, da gre v raziskanih prelomnih conah v Pivki jami za tako imenovano tektonsko glino. Tektonska glina je značilna za notranjo prelomno cono (L.Placer,1982), katere bistveni element je notranja prelomna ploskev. V notranji prelomni coni nastopajo bloki bolj ali manj porušene kamnine v lečah. Tako tudi ta glina, ki je v bistvu porušen apnenec, nastopa v lečah.

Posebno zanimiva je opisana široka prelomna cona v umetnem tunelu med Pivko in Črno jamo, kjer taka glina nastopa na videz v 1m širokem pasu. V tej prelomni coni je apnenec navpično razlomljen in nastopa v do 1cm širokih pasovih. Ta apnenec je prekrystaljen in ob razpokah prehaja v glino. To sem po posvetovanju z dr.Čarjem imenovala "tektonska laminacija" ali "tektonska plastovitost", vendar bi se bilo o tem izrazu treba še posvetovati. Makroskopsko so te tektonske lamine debele do 10 mm. v mikroskopu pa je vidno, da je apnenec laminiran v isti smeri tudi v eni sami taki tektonski lamini. Nastanek take tektonske laminacije razlagam tako, da se je mikritni apnenec zaradi bočnih pritiskov najprej prekrystalil v sparitni apnenec, potem pa se je ta "tektonsko laminiral". Na stikih teh lamin je sparit zaradi bočnih pritiskov, zmika in stiskanja, prehajal v raztopino. Z nadaljnimi bočnimi pritiski je sparitni apnenec zaradi tega postajal vedno bolj porozen. Nazadnje se je struktura, zaradi vedno več por, sparitnega apnenca porušila in nastala je rumena ilovica (Slika 12). Na stiku dveh takih tektonskih lamin je ostal samo tanek pas netopnih ostankov apnenca, ki so zaradi goethita obarvani rumeno. Ob nekaterih ploskvah, ki ločujejo posamezne tektonske lamine se je zaradi močnejših trenj rumena tektonska glina obarvala rdeče. S pomočjo mineraloških analiz sem ugotovila, da rdečo barvo daje glini hematit, ki je verjetno nastal iz goethita, tako da se je pod pritiski iz njega iztisnila voda.

Glede na mineralno sestavo, določeno z rentgensko difraktometrijo in strukturo določeno z presevnim mikroskopom, lahko trdim, da je glina v opisanih prelomnih conah v Pivki jami nastala z razpadom in prekrystalizacijo apnenca. Tanke navpične pole so iz apnenca, ki je pod pritiski razpokal, vmes pa je rumena glina, ki je nastala z razpadom apnenčeve strukture. V pasovih z več tektonske gline so pole sekundarnega kalcita, katerega kristali so usmerjeni pravokotno na razpoke, kar je značilno za rast kalcita pod pritiski. Ta kalcit se je izločal sekundarno iz nasičenih raztopin v mehki glini, kjer je imel dovolj prostora za krystalizacijo.

Rdeča glina ob sami prelomni ploskvi je nastala iz rumene, tako da je bila iz goethita iztisnjena voda s tektonskimi pritiski, pri čemer je nastal hematit, ki daje glini rdečo barvo.

Rumena ilovica v Partizanskem rovu ima popolnoma drugačen izvor, na kar sklepamo že po sami laminaciji vzorca, glede na mineralno sestavo pa jo je očitno, v jamo prinesla reka Pivka s flišnega zaledja.



Sl. 12: Prekristalizacija biomikritnega apnenca in njegov prehod v tektonsko glino (shema)

1. biomikritni apnenec
2. sparit
3. porozen sparit
4. tektonska glina
5. tektonska breča
6. glavna prelomna ploskev

Fig. 12: Recrystallisation of biomicritic limestone and its transformation in tectonic clay (scheme)

1. biomicritic limestone
2. sparite
3. porous sparite
4. tectonic clay
5. tectonic breccia
6. main fault zone

LITERATURA

- Brodar, S., 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postonjski jami. Acta carsologica SAZU, 4, 55-183, Ljubljana.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. Acta carsologica SAZU, 10(1981), 75-105, Ljubljana.
- Čar, J., Gospodarič, R., 1984: O geologiji krasi med Postojno, Planino in Cerknico. Acta carsologica SAZU, 12(1983), 91-106, Ljubljana.
- Gams, I., 1973: Slovenska kraška terminologija. 1-76, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1963: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postonjski jami. Naše jame 5, 1/2, 5-11, Ljubljana.
- Osnovna geološka karta SFRJ, list Postojna, L33-77, 1 : 100 000, 1967, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Placer, L., 1982: Tektonski razvoj idrijskega rudišča. Geologija 25/1, 7-94, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1970: Tolmač za osnovno geološko karto, list Postojna, 1-62, Zvezni geološki zavod, Beograd.

MINERALOGY OF TECTONIC CLAY IN PIVKA JAMA

Summary

Pivka jama is the cave near Postojna which is made by underground river Pivka. The cave is located in karst region, built by the limestones of Lower and Upper Cretaceous (M. Pleničar, 1970).

Cave loams are interesting because of their mineralogical composition. According to this we can define the origin and transport of minerals in the loam and related cave speleogenesis. By my work in caves I've distinguished three sorts of cave loames:

1. loam, which came in the cave by infiltration water;
2. loam, which developed along fault planes, this is tectonic clay mostly;
3. flood loam, which is transported in the cave by underground water flow.

In the article are examined loams in fault zones in Pivka jama. For comparison I've analysed laminated loam and sand from Partizanski rov between Postonjska jama and Črna jama and weathering rests under the Pivka jama. Main samples are from fault zone (Fig.1) in artificial tunnel between Pivka jama and Črna jama. At first sight it looks like flood loam which is cut by tectonics. But macroscopic, microscopic and x-ray analyses have shown that this is limestone which is recrystallised and remodelled by tectonics. Micritic limestone is recrystallised in sparitic because of tectonic pressures (Fig.12). Sparitic limestone is cut by vertical lines. Zones between two lines I called "tectonic lamines". On the contact of two "tectonic lamines" I found clay minerals and goethite. They are insoluble rests of limestones (Fig.8). Where pressures are stronger the structure of sparitic limestone is broken and yellowish-brown tectonic clay is formed. Tectonic clay in fault zone is made by calcite (95%), clay minerals and goethite. Directly on the main fault plane clays are red. Till now they meant that the red clay in fault zone is terra rossa, which was infiltrated by water. But analyses have shown that red clay in fault zones in Pivka jama consists exclusively from calcite and there are hematite and some goethite in traces. Because of this mineralogical composition I think, that this red clay has origin in yellowish-brown clay. Goethite from yellowish-brown clay is transformed in hematite by pressures, and hematite gives red color to clay.

APNENEC Z ROŽENCI IN NJIHOV
VPLIV NA VELIKOST ROVOV V
POSTOJNSKI JAMI

IMPACT OF LIMESTONE WITH CHERTS ON PASSAGES
SIZE IN POSTOJNSKA JAMA

STANKA ŠEBELA

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Postojna):552.541

Šebela, Stanka: Apnenec z roženci in njihov vpliv na velikost rogov v Postojnski jami

Prispevek je dodatek k litološkemu pregledu apnenca z lečami rožencev v primerjavi z velikostjo rogov. Glede na različno vsebnost kalcita sem ločila dva različka leč in sicer leče rožencev in kalcitizirane leče rožencev. Mikroskopska preiskava leč je pokazala, da kalcit nadomešča kremen. Tam kjer najdemo apnenec z roženci, opazujemo nekoliko manjše rove, kot tam kjer nastopajo le apnenci.

Ključne besede: mineralogija karbonatov, roženci, speleomorfologija, Postojnska jama, Slovenija

Abstract

UDC 551.442(497.12 Postojna):552.541

Šebela, Stanka: Impact of limestone with cherts on passages size in Postojnska jama

The article is a contribution to lithological survey of limestone with chert lens in comparison with the passages size. Concerning different contents of calcite I've separated two lens: chert lens and calcited chert lens. Microscopy study of lens showed that quartz is replaced by calcite. In the places where we find limestone with cherts, we've noticed smaller passages, compared to those, where are just limestones.

Key words: carbonates mineralogy, cherts, speleomorphology, Postojnska jama, Slovenia

Naslov - Address

Stanka Šebela, dipl. ing. geol., raziskovalni asistent
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

V Postojnski jami najdemo med zgornje krednimi apnenci leče, gomolje in plasti rožen-
cev. Raziskovalci, ki so proučevali razmere v Postojnski jami, so pri pregledu kamninske
zgradbe posvetili pozornost tudi rožencem, saj pomenijo le ti v petrografskem smislu popes-
tritev monotonih apnencev. V delih, kjer nastopajo roženci, je jama slabše ali pa sploh ni zasi-
gana. Zato je v teh delih precej lažje slediti prelomom kot tudi sami kamnini.

Ko sem pregledovala rožence, sem posebno pozornost namenila velikosti in obliki ro-
vov. Pri tem sem naletela tudi na leče, ki se med seboj precej razlikujejo. Pri preiskusu s HCl se je
pokazalo, da nekatere reagirajo s kislino, druge pa ne. Po vsebnosti kalcita ločimo torej dva
različka, medtem ko bi jih po barvi lahko ločili še več. Leče, gomolji in plasti rožen-
cev so lahko skoraj povsem bele pa vse do črne barve.

Ker se do sedaj v Postojnski jami z različki leč roženca ni ukvarjal še nihče, sem se odlo-
čila, da s pomočjo zbruskov in z rentgensko preiskavo ugotovim, v kakšni povezavi so te leče
med seboj ter kakšna je velikost ro-
vov v odvisnosti od njih.

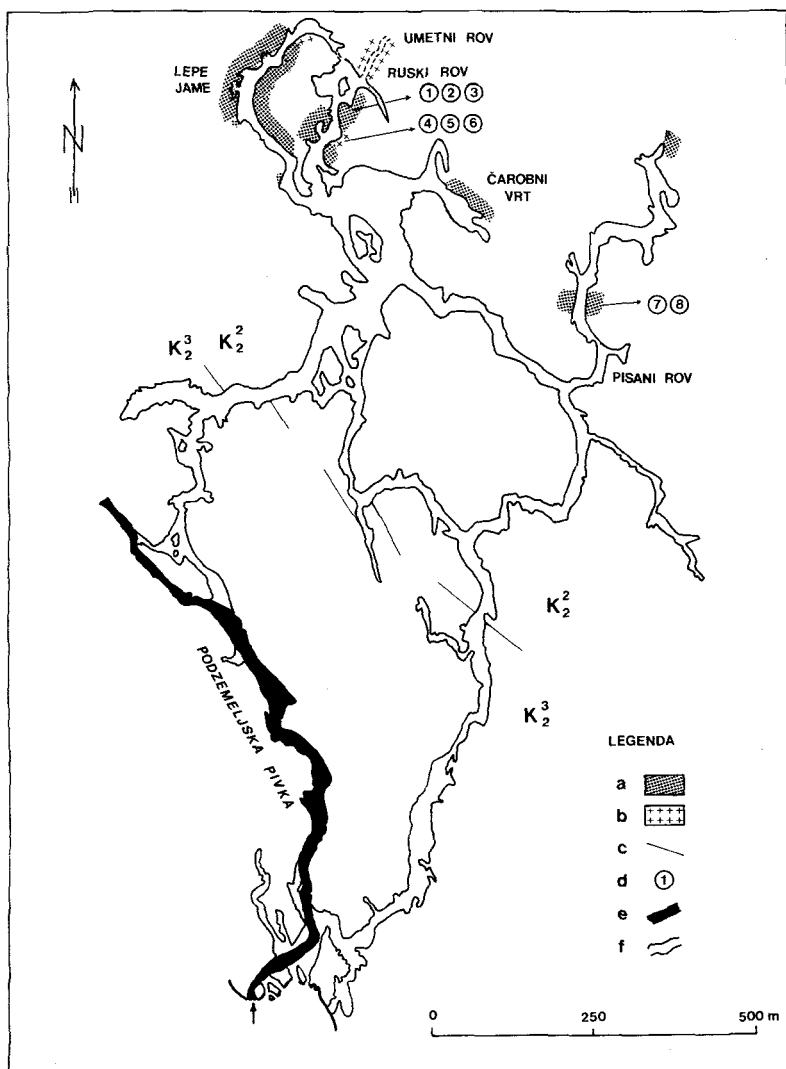
Zahvaljujem se tudi geologoma D. Skabernetu in J. Čarju za koristne napotke, ki so mi
pomagali pri delu.

KRATEK PREGLED RAZISKAV

R. Gospodarič je v svojih delih posvetil mnogo pozornosti geološkim razmeram v Po-
stojnski jami, pri čemer je upošteval tudi rožence. Leta 1963 je podrobno opisal Pisani rov.
Poleg pravih apnencev se tu pojavljajo tudi silificirani in dolomitizirani apnenci, ki so bolj odpor-
ni proti korozijskemu delovanju vode. Vendar pa je, zaradi razpok, voda v njih izdelala prav
take prostore kot drugod.

V letih 1967 in 1969 je podal svoje ugotovitve o podrtih kapnikih in speleoloških proce-
sih v mlajšem pleistocenu v Postojnski jami. Omejil je tudi lokacije rožen-
cev v jami in na površju. Tako se apnenci z roženci, ki jih na površju sledimo v Jeršanovi dolini, nadaljujejo v
Pisanem rovu.

Z obširnimi raziskavami je obdelal razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem
(R. Gospodarič, 1976). Posebno je zanimiva primerjava paleocenskega in zgornjekrednega
apnenca z roženci s prodniki rožen-
cev v naplavini. Loči prod pisanega in prod belega roženca,
ki ju najdemo tudi v Postojnski jami. Prod pisanega roženca je ena najstarejših naplavin v
Pivški kotlini. Ti prodniki so večinoma iz roženca in metamorf-
nih kamnin, ki jih v širšem območju Pivške kotline in SW Slovenije ni. Prod belega roženca ima poreklo v paleocenskem
apnencu Pivške kotline, kar je bilo potrjeno s preiskavo zbruskov rožen-
cev in prodnikov rožen-
cev.



Sl.1 Položaj rožencev v sistemu Postojnskih jam

a-apnenec z lečami rožencev K_2^2 , b-apnenec s kalcitiziranimi lečami rožencev K_2^2 , c-meja med turonijskim K_2^2 in senonijskim K_2^3 apnenecem, d-številka in mesto vzorca, e- vodni rov, f-suhi rov

Fig.1 A position of cherts in the system of Postojnska jama

a-limestone with chert lens K_2^2 , b-limestone with calcited chert lens K_2^2 , c-a border between Turonian K_2^2 and Senonian K_2^3 limestone, d- a number and sampling point, e-water channel, f-dry passage

M. Pleničar (1960) je v opisu faciesov zgornje krede podrobneje upošteval rožence. Zgornjekredne kamnine so v okolici Postojne razvite v dveh faciesih in sicer v grebenskem in medgrebenskem faciesu. Med plastmi grebenskih rudistnih apnencev so apnenci brez rudistov, ki vsebujejo vložke rožencev. Slednji predstavljajo medgrebenski facies. Roženci so bili pregledani pod polarizacijskim mikroskopom v presevni svetlobi. Sestavljeni so pretežno iz subkristalnega kremena, v katerem so majhna gnezda kalcedona. M. Pleničar (1960) zagovarja, da so bili roženci nanaseni v obalno kredno morje s kopnega iz starejših plasti. Dejstvo je tudi, da nastopajo samo v manj zakraselem apnencu in predstavljajo nepropustno plast.

Apnenec z lečami roženca je nastajal na podmorskem pragu, ki je obdajal kontinent. Prag je imel konkavno površino, kar pomeni, da se je proti zunanjemu robu nekoliko dvigal, proti obali pa najprej spuščal, nato pa naglo dvigal (M. Pleničar, 1970).

SPLOŠNI GEOLOŠKI PODATKI POSTOJNSKE JAME

Postojnska jama je razvita v zgornje krednem in sicer v turonijskem K^2_2 in senonijskem K^3_2 apnencu. Turonijski apnenec vsebuje v spodnjem delu leče, gomolje in plasti rožencev. Horizont apnenca z roženci je debel najmanj 60 m. Nad njim je neskladovit turonijski apnenec debeline okoli 100 m. Temu pa sledi še skladovit apnenec, tako da je debelina turonijskih plasti 300 m (R. Gospodarič, 1976).

Senonijske plasti so v zahodnem in jugozahodnem delu Postojnske jame. V spodnjem delu so debelo skladoviti, v zgornjem pa nekoliko tanjše skladoviti apnenci (R. Gospodarič, 1976).

Apnence z roženci sledimo v Pisanem rovu, Čarobnem vrtu, Ruskem rovu, Lepih jamah, Umetnem rovu (slika 1). Vse te lokacije nam kažejo povezavo plasti z roženci s potekom Postojnske antiklinale, ki je za razvoj rogov posebnega pomena (R. Gospodarič, 1963).

OPIS VZORCEV IZ RUSKEGA ROVA IN PISANEGA ROVA

Zaradi boljšega ločevanja dveh osnovnih različkov leč rožencev, sem se odločila, da v nadaljevanju imenujem kalcitizirane leče rožencev, ki reagirajo s HCl, in leče rožencev, ki ne reagirajo s kislino. Slika 1 nam pokaže, v katerih delih Postojnske jame se javljata ta dva različka.

Vzorci kamnin, ki sem jih preiskala, so turonijske starosti in predstavljajo apnence ali rožence. Vzeti so bili v Ruskem in Pisanem rovu. Preiskava zbruskov in rentgenska preiskava je pripomogla k boljšemu poznavanju litologije apnencev z roženci.

Makroskopsko in pod polarizacijskim mikroskopom sem pregledala 8 vzorcev apnencev in rožencev, iz katerih so narejeni zbruski. Vzorci so bili vzeti v Ruskem rovu in Pisanem rovu (slika 1).

VZOREC 1 – leča roženca (Ruski rov)

Sl.2. Leče roženec v apnencu; Ruski rov

Fig.2. Chert lens in limestone; Ruski rov

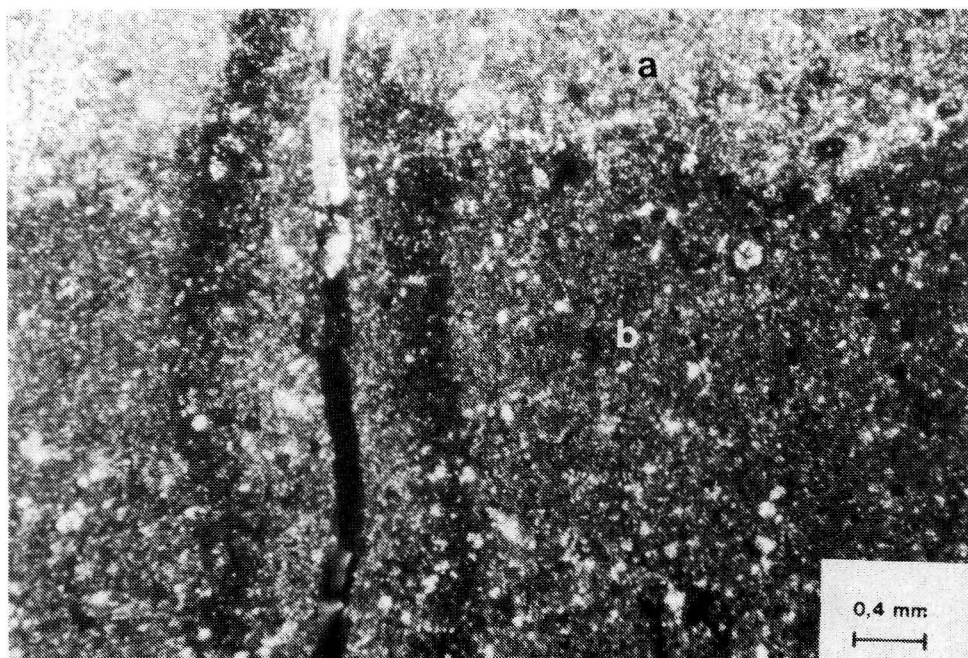
Leča roženca (slika 2) je po barvni lestvici zelo svetlo sive barve, oznaka je N8. Vzorec ni kompakten, ampak precej razpokan in ne reagira s HCl. Na spodnji in zgornji strani leče opazujemo okrog 1 mm debelo prevleko črne barve. Verjetno so to Mn oksidi. Dolžina leče je 15 cm, širina pa do 5 cm.

V zbrusku opazujemo zelo drobno kristalen kremen (20 μm) in prav tako drobno kristalen kalcit (slika 3). Čeprav prevladuje kremen, pa v nekaterih predelih prevladuje kalcit nad kremenom, vendar je to redko. Nastopajo tudi do 400 μm debele razpoke, ki so zapolnjene s sparitom. Vse to nam pove, da je kalcit mlajši kot kremen. Kremen se torej nadomešča s kalcitom. V kremenasti osnovi so prisotne kremenaste spikule in okrogla polja velikosti okoli 50 μm , ki so zapolnjena s kalcedonom. Vse kaže, da so to slabo ohranjeni radiolariji.

VZOREC 2 – apnenec z lečami roženca (Ruski rov)

Apnenec je mnogo bolj kompakten kot so leče roženca. Je svetlo olivno sive barve (5Y6/1) in reagira s HCl. V njem je precej drobnih žilic, debelih okrog 2 mm, v katerih so

kristalčki kalcita. Vzorec apnenca obdaja bela prevleka, debeline 1–2 mm, ki maže prste in predstavlja sledove razpadanja apnenca.



Sl.3 Leča roženca; navzkrižni nikoli

a-kalcit, b-kremen

Fig.3 Chert lens; crossed nicols

a-calcite, b-quartz

Mikritni apnenec vsebuje mnogo fosilnih ostankov. Zbrusek je premrežen z razpokami, ki so zapolnjene s sekundarnim kalcitom, to je s sparitom. Debelina razpok je okrog 140 μm . Poleg razpok zasledimo tudi okrogla polja zapolnjena s sparitom.

VZOREC 3 – apnenec z lečami roženca (Ruski rov)

Vzorec apnenca močno reagira s HCl in je zelo podoben vzorcu 3. Oznaka barve je 5Y6/1, to je svetlo olivno siva. Tudi ta vzorec vsebuje tanke, okrog 2 mm, debele žilice kalcita.

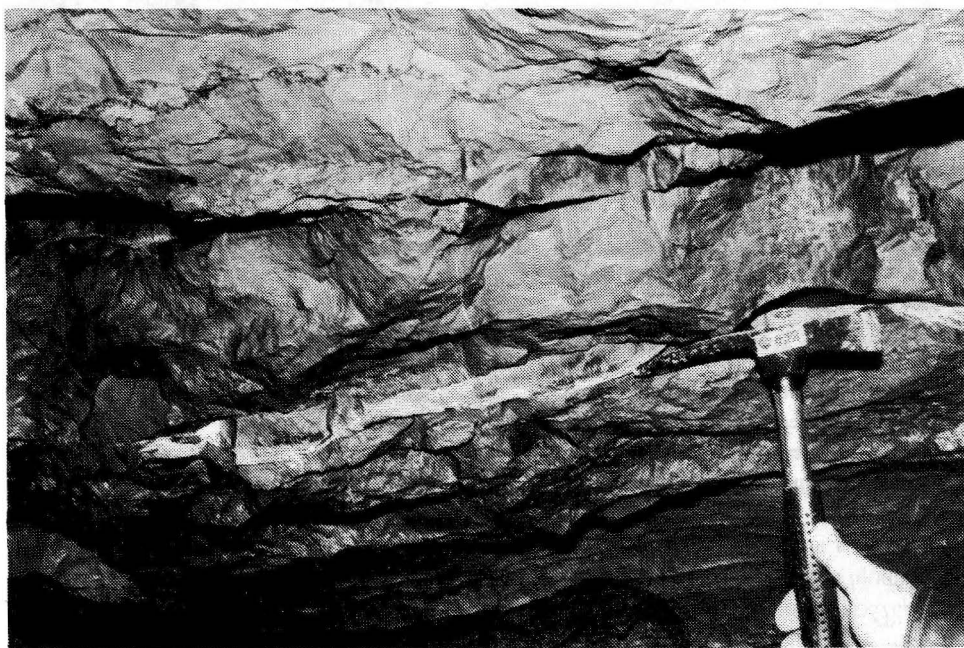
Prav tako kot v vzorcu 3 je tudi tu v osnovi mikritni apnenec. Vsebuje mnogo fosilnih ostankov, vendar nekoliko več polj, velikosti okrog 200 μm , zapolnjenih s sekundarnim kalcitom.

VZOREC 4 – apnenec s stilolitnimi šivi (Ruski rov)

Podobno kot vzorca 3 in 4 predstavlja tudi vzorec 4 kompakten apnenec svetlo olivno sive barve (5Y6/1). V zgornjem delu vzorca so v temnejši barvi kot osnova stilolitni šivi debeline okrog 1 mm.

Zbrusek tega vzorca predstavlja mikritni apnenec, ki ima izmed vseh pregledanih zbruskov največ fosilnih ostankov, izmed katerih prevladujejo foraminifere. Zasedimo tudi vlaknasta polja, ki predstavljajo sigo. V delu zbruska opazujemo stilolitne šive debeline okrog 35 μm .

VZOREC 5 – kalcitizirana leča roženca (Ruski rov)



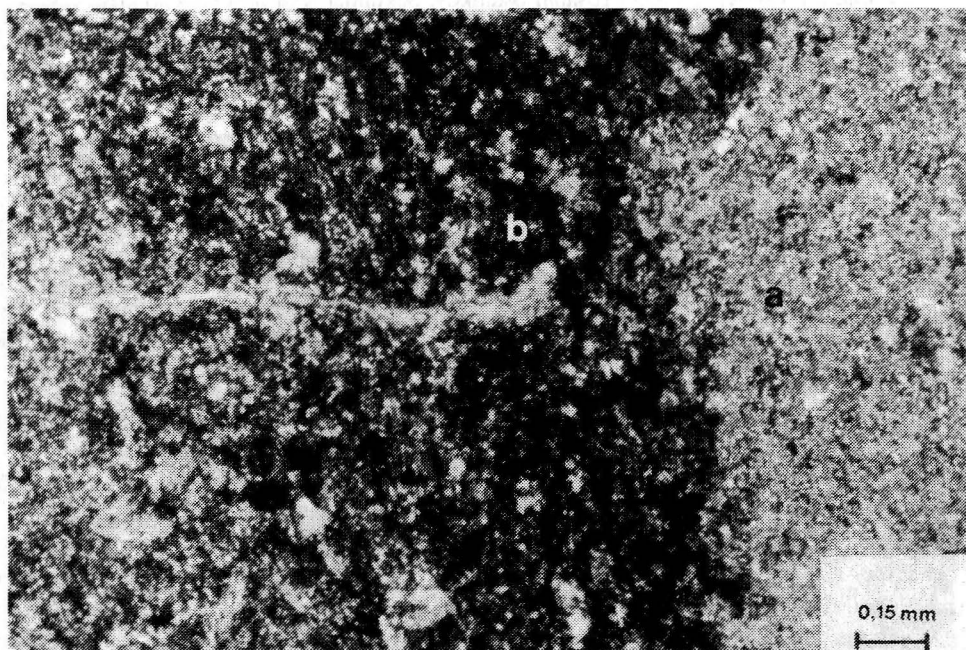
Sl.4 Kalcitizirane leče rožencev; Ruski rov

Fig.4 Calcited chert lens; Ruski rov

Kalcitizirana leča roženca (slika 4) nastopa zelo podobno kot leča roženca. Razlika je v tem, da prva reagira s HCl, druga pa ne. Tudi v barvi je razlika skoraj neopazna, tako da je barva vzorca 5 prav tako kot vzorca 1 zelo svetlo siva (N8). Dolžina kalcitizirane leče roženca je 20 cm in širina 5 cm.

Preiskava zbruska pod polarizacijskim mikroskopom je pokazala, da ne gre za čisto lečo

apnenca, saj je prisotnega precej kremena (slika 5). Velikost zrn kalcita in kremena je okrog 20 μm . V nekaterih predelih zbruska lahko govorimo o skoraj povsem čistih poljih kalcita, drugje pa o poljih kremena. Vendar pa v zbrusku prevladujejo kalcitna zrna. Zanimiva so predvsem prehodna polja med kremenom in kalcitom, ki kažejo na mlajšo starost kalcita v primerjavi s kremenom. Precej je razpok, ki so zapolnjene s kalcitom, ki nastopa v zrnih velikosti do 40 μm in predstavlja sparit. Zasedimo tudi kremenaste in kalcitne spikule povprečne dolžine okrog 130 μm . Ta leča je torej mnogo bolj nadomeščena s kalcitom kot leča, ki predstavlja vzorec 1.



Sl.5 Kalcitizirana leča roženca; navzkrižni nikoli
a-kalcit, b-kremen

Fig.5 Calcited chert lens; crossed nicols
a-calcite, b- quartz

VZOREC 6 – apnenec (Ruski rov)

Ta apnenec se od ostalih vzorcev apnenecv loči predvsem po barvi. Je srednje svetlo siv (N6). V razpokah, ki dosežejo debelino do 3 mm, najdemo sigo ter drobne kristalčke kalcita. Vzorec je kompakten in reagira s HCl. Ponekod je prehod v okolni apnenec, kot ga predstavljajo vzorci 2, 3 in 4, skoraj povsem zabrisan, drugje pa imamo dovolj ostro mejo.

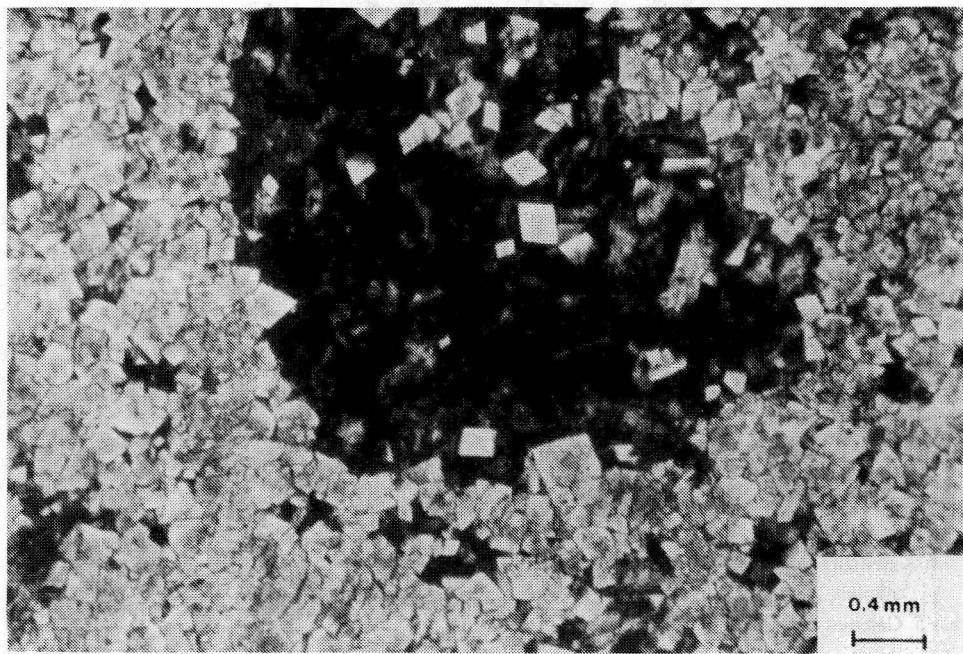
Mikritna osnova, v kateri je precej fosilnih ostankov, je razkosana s številnimi razpokami

debeline okrog 1 mm, v katerih so zelo velika zrna kalcita ($500\ \mu\text{m}$). To je sekundaren kalcit – sparit. Najdemo pa tudi nekoliko manjša kalcitna zrna velikosti okrog $90\ \mu\text{m}$. V zbrusku zasledimo precej sige.

VZOREC 7 – apnenec (Pisani rov)

Apnenec močno reagira s HCl. Je roza sive barve (5YR8/1). Ob robovih je vzorec zelo krhek, kar si razložimo z delovanjem vode na apnenec.

V mikritni osnovi je precej fosilnih ostankov. Sekundarnega nastanka so kristali, ki so v povprečju veliki okrog $130\ \mu\text{m}$ in so prisotni v celotnem zbrusku. Po obliki prevladujejo rombi (slika 6), ki so obarvani z alizerinskim barvilom. Gre za kristalčke dolomita, ki pa vsebujejo še precej kalcita, zato so obarvani.



Sl.6 Dolomitizacija apnenca; navzkrižni nikoli

Fig.6 Dolomitization of limestone; crossed nicols

VZOREC 8 – apnenec (Pisani rov)

Kompakten apnenec je prekrit s tanko belo kalcitno prevleko, ki maže prste. To so sledovi razpadanja apnenca. Vzorec reagira s HCl in je svetlo olivno sive barve (5Y6/1). Razpoke, ki so debele od 1 do 2 mm, so zapolnjene s kalcitnimi kristali ali sigo.

V zbrusku je prisoten mikrit, ki vsebuje precej fosilnih ostankov. Razpoke so zapolnjene s sparitom. Ponekod najdemo sigo.

Rentgenska preiskava vzorcev 1 in 5

Vzorec 1, to je leča roženca in vzorec 5, ki predstavlja kalcitizirano lečo roženca, sem preiskala še z rentgensko metodo.

Vzorca sta bila posneta na FNT, VTOZD Montanistika, na rentgenskem difraktometru znamke Philips z žarki $\text{Cu}_{K\alpha}$ ($\lambda = 1.5418 \cdot 10^{-1} \text{ nm}$) pri napetosti 40 kV in anodnem toku 20 mA. Uporabljen je bil Ni filter, proporcionalni števec in grafitni monokromator v kotnem območju $2\theta = 3\text{--}70^\circ$. Hitrost goniometra je bila $2\theta = 2^\circ/\text{minuto}$, hitrost papirja pa 20 mm/minuto. Obseg zapisa je znašal 1×10^3 udarcev na sekundo pri časovni konstanti 4. Nekatera kotna območja npr. $2\theta = 20\text{--}29^\circ$ so bila ponovno posneta pri obsegu 4×10^3 udarcev na sekundo.

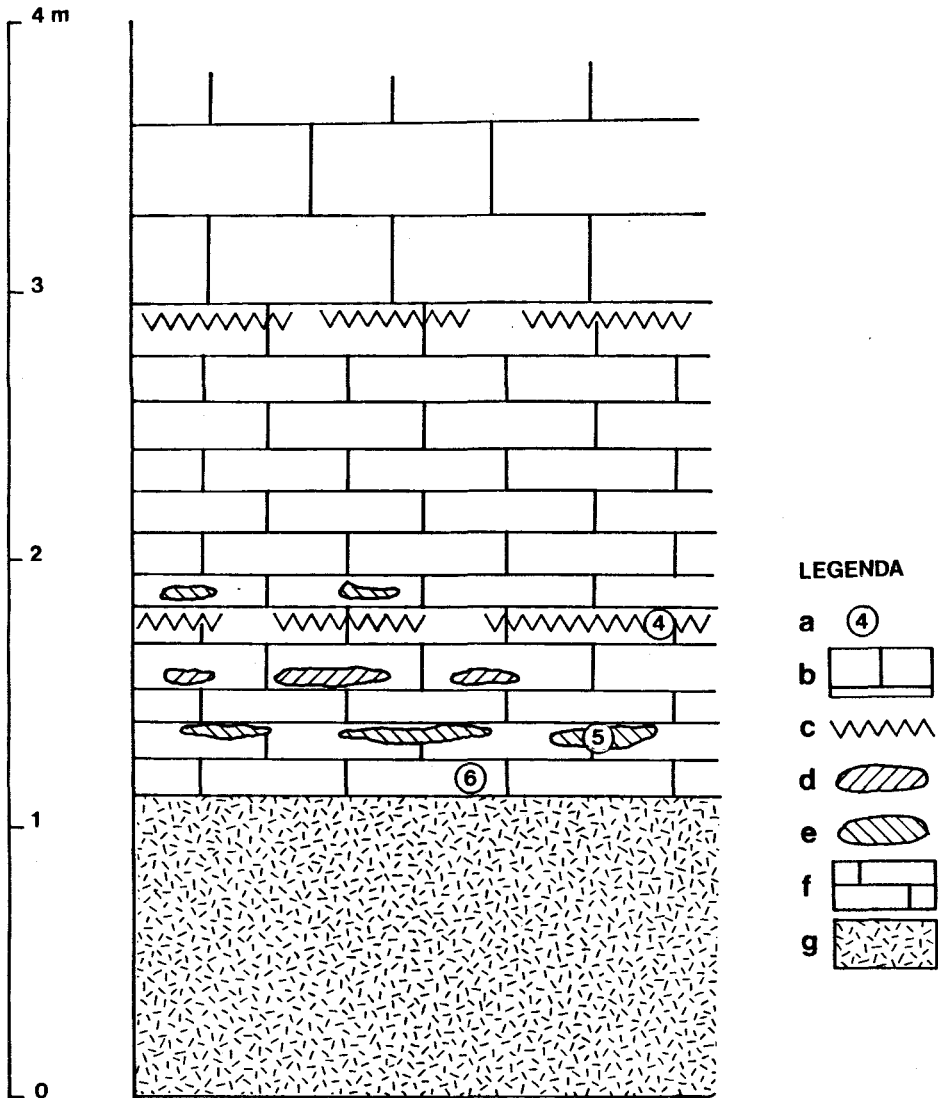
V obeh rentgenogramih sem določila dva minerala in sicer kremen in kalcit. Če primerjamo relativno jakost odbojev, je razmerje med kremenom in kalcitom 22.5 : 1 v vzorcu 1 in 22.5 : 2.5 v vzorcu 5. Kremen torej v obeh vzorcih prevladuje. V vzorcu 5, to je v kalcitizirani leči roženca, pa je kalcita še enkrat več kot v vzorcu 1.

Rentgenska preiskava je dopolnila preiskavo zbruskov v količinskem odnosu kremen : kalcit, vendar je treba poudariti, da bi glede na količino kalcita v zbrusku kalcitizirane leče roženca pričakovali več kalcita, kot pa ga je pokazala rentgenska preiskava. Tako je možno, da niso bili vzeti najbolj reprezentativni vzorci za rentgensko preiskavo.

LITOLOŠKI STOLPEC S KALCITIZIRANIMI LEČAMI ROŽENCA

Na sliki 1 je označenih več mest, kjer najdemo kalcitizirane leče rožencev. Litološki stolpec (slika 7), ki ga opisujem, se nahaja v Ruskem rovu, na mestu, kjer so bili vzeti vzorci 4, 5 in 6 in sicer v umetno povišanem rovu, ki ga lahko opazujemo v dolžini 5 m in v višini 4 m. Prvotno višino rova nakazujejo stene apnenca prekrite s tanjšo plastjo klastičnih sedimentnih kamnin. V tem delu ne vidimo kalcitiziranih leč roženca. Prvotni rov je imel višino od 10 do 150 cm, s tem da se je strop zniževal proti severu. Leče nastopajo vzporedno s plastovitostjo apnenca. Smer plasti je 30° , vpad 35° .

V umetno odkopani steni imamo najprej horizont debeline okrog 25 cm, v katerem nastopajo kalcitizirane leče roženca v apnencu. Glede na barvo jih od spodaj navzgor ločimo na bele in sive leče. Vzorec 5, iz katerega je bil narejen zbrusek, predstavlja belo lečo. V višini okrog 35 cm od prvotne višine rova se ponovi horizont belih leč, ki pa so v tem delu mnogo redkejšje. Apnenčeva osnova vsebuje poleg kalcitiziranih leč apnenca še stilolitne šive, ki niso zvezno sklenjeni, ampak na mnogih mestih pretrti. Apnenec s stilolitnimi šivi nastopa v dveh horizontih. Nad zgornjim, v višini 3 m, prehaja tanko plastovit apnenec v debelo plastovitega, ki pa ga v rovu ne moremo videti. Opazen je okrog 7 m severneje v delu, kjer iz umetnega rova preidemo v jamo večjih dimenzij. Ta debelo plastovit apnenec je slabo zasigan.



Sl.7 Litološki stolpec kalcitiziranih leč roženca; Ruski rov

a-številka in mesto vzorca, b-debelo plastovit apnenec K^2_2 , c-stilolitni šivi, d-sive leče, e-bele leče, f-tanko plastovit apnenec K^2_2 , g-prvotna višina rova

Fig.7 Lithological column of calcited chert lens; Ruski rov

a-a number and a place of the sample, b-thick-bedded limestone K^2_2 , c-stylolite, d-grey lens, e-white lens, f-thin-bedded limestone K^2_2 , g-former channel's height

V tem ozkem rovu ni opaznih prelomov. Pravokotno na kalcitizirane leče roženca potekajo ponekod okrog 2 mm debele razpoke, ki so zapolnjene s kalcitom.

SKLEPI

Vzorci rožencev in apnencev sem pregledala s polarizacijskim mikroskopom v presečni svetlobi in z rentgensko preiskavo. Ugotovljeno je, da nastopajo v Postojnski jami leče rožencev, kot tudi kalcitizirane leče rožencev v mikritnem apnencu, ki je bogat z mikroskopsko opaznimi fosilnimi ostanki, predvsem foraminiferami, zato lahko govorimo o biomikritu.

Leče rožencev, ki sem jih preiskala, so zelo krhke in jih z udarcem kladiva zlahka zdrobimo. Preiskava zbruskov je pokazala, da vsebujejo roženci drobno zrnat kalcit, vendar močno prevladuje kremen. Rentgenska analiza je potrdila prisotnost kalcita in kremenca, s tem da je količinsko razmerje med njima 22.5 : 1 v korist kremenca.

Prav tako najdemo v zbruskih kalcitiziranih leč roženca kalcit in kremen. Kalcita je več, kot v lečah rožencev, zapolnjuje pa tudi razpoke. To kaže na pozno diagenetsko starost kalcita v lečah. Te leče so bolj kompaktne kot roženčeve. V rentgenogramu je količinsko razmerje med kremenom in kalcitom 22.5 : 2.5, vendar je v zbrusku vzorca 5 količinsko kalcita več, kot ga pokaže rentgenogram.

Da je prišlo v pozni diagenezi do nadomeščanja kremenca s kalcitom, je moralo biti okolje alkalno, saj kalcit nastaja v takih pogojih. Dva različna rožencev, ki sem ju določila, pa predstavljata dve različni fazi nadomeščanja kremenca s kalcitom. V lečah rožencev ni prišlo do večjega nadomeščanja, saj kamnina še ne reagira s HCl. V kalcitiziranih lečah rožencev pa je kremen že mnogo bolj nadomeščen s kalcitom.

Če opazujemo rove, v katerih nastopajo leče rožencev, vidimo, da je jama v teh delih slabše ali pa skoraj ni zasigana. Tudi velikost rogov je manjša kot tam, kjer najdemo le apnenec. Na nekaterih mestih z lečami rožencev so morali, zaradi turistične poti v Postojnski jami, povišati rov. Značilno je, da roženci reliefno izstopajo iz okolnega apnenca. Preiskava zbruskov pa je pokazala, da ob obilici karbonatnih kamnin, v našem primeru apnencev, tudi kremen ni povsem obstojen in se lahko nadomešča s kalcitom.

LITERATURA

- Gospodarič, R., 1963: K poznavanju Postojnske jame - Pisani rov. Naše jame 4 (1962), 9-16, Ljubljana
Gospodarič, R., 1967: Podrti kapniki v Postojnski jami. Naše jame 9, 15-31, Ljubljana
Gospodarič, R., 1969: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. Naše jame 10, 37-46, Ljubljana
Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Plavskim poljem v kvartarju. Acta carsologica 7, 8-135, Ljubljana
Pleničar, M., 1960: Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. Geologija 6, 22-145, Ljubljana
Pleničar, M., 1970: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Postojna. Zvezni geološki zavod, 1-62, Beograd

IMPACT OF LIMESTONE WITH CHERTS ON PASSAGES SIZE IN POSTOJNSKA JAMA

Summary

The most important methods were microscopy and x-ray studies. I found out that in Postojnska jama there are chert lens and calcited chert lens in micritic limestone.

Microscopy study has shown that chert lens contain fine grained calcite, but quartz is dominating. X-ray study confirmed presence of calcite and quartz with the rate 1:22.5 for quartz.

In the samples of calcited chert lens I also found calcite and quartz, but in this case there is much more calcite than in chert lens. In the late diagenesis quartz was replaced by calcite.

If we examine passages with chert lens in limestone we see that in this places there's not much travertine. The passages are smaller than the passages with limestone only. Good example is a part of turistic way in Postojnska jama where the former channel's height had to be raised.

KONTAKTNI KRAS PRI KAČIČAH IN PONOR MEJAME

CONTACT KARST NEAR KAČIČE AND
PONOR CAVE MEJAME

ANDREJ MIHEVC

Izvleček

UDK 551.44(497.12 Divača)

Mihevc, Andrej: Kontaktni kras pri Kačičah in ponor Mejame

Ob stiku flišnih Brkinov in Divaškega ravnika pritekajo na kras Golobert, Hudournik in Kačiški potok. Odmakajo 2 km² veliko povodje na flišu. Potoki so skupaj izdelali robno globel severno od Dan ter z razvojem vanjo poglobili dve slepi dolini. Danes ponikajo ločeno, na skupni razvoj pa kažejo še suhe doline in ostanki naplavin na krasu. Potoki ponikajo v aluvialnih grezih ali v lastni naplavini, Golobert pa teče v 170 m globoko jamo Mejame. Jama je nastala ob razpoklinski coni v smeri sever-jug ter dosega lokalno gladino kraške vode na višini 255 m.

Ključne besede: kontaktni kras, geomorfologija krasa, speleogeneza, Mejame, Divaški kras, Slovenija

Abstract

UDC 551.44(497.12 Divača)

Mihevc, Andrej: Contact Karst near Kačiče and Ponor Cave Mejame

On the contact between flysch Brkini and Divaški ravnik the karst streams Golobert, Hudournik and Kačiški potok appear. The water basin on flysch area covers 2 km². These brooks have formed margin depression north from Dane and have cut two blind valleys. Now they sink separately, common development is evidenced by dry valleys and sediments remains on karst. The brooks sink either in alluvial sinkholes or in their sediments, while Golobert flows into 170 m deep ponor cave Mejame. The cave, developed in fissured zone, is oriented to north-south, having local karst water table on the Hill 255 m.

Key words: contact karst, karst geomorphology, speleogenesis, Mejame, Karst of Divača, Slovenia

Naslov-Address

Andrej Mihevc, dipl.geogr.razisk.asist.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Titov trg 2

66 230 Postojna

Jugoslavija

UVOD

Dobro vodoprepustne kraške kamnine, ki so dvignjene nad piezometrični nivo omogočajo nemoten odtok padavinske vode brez njenega združevanja v površinske tokove. Za razvoj reliefa na takšnem površju je značilno, da kamninska masa odhaja v raztopini, transport je navpičen, akumulacija pa neznatna (F. Šušteršič, 1982). Kjer je takšen proces moten s površinskim vodnim odtekanjem, erozijo in denudacijo pa govorimo o fluviokrasu (I. Gams, 1986).

Poseben tip fluviokrasa predstavlja kontaktni fluviokras. Nastane na stiku z nekraškimi sosedstvom, od koder pritekajo površinski vodni tokovi, ki na krasu ponikajo. Ob stiku s krasom nastanejo različno oblikovane zaprte robne globeli z naplavljenim dnom, suhe doline, ponori in jame.

Oblike in pojavi kontaktnega krasa nastajajo s prepletanjem dejavnikov, ki oblikujejo normalni in kraški relief. Najpomembnejši so lastnosti ponikalnice, dolžina njenega toka po krasu pred ponorom, oblika kontakta, litološke lastnosti kamenin ter stopnja razvitosti in lastnosti krasa. S časom se razmerja med posameznimi dejavniki spreminjajo, spreminjajo pa se tudi zunanji dejavniki, na primer klima.

Ob zahodnem robu Brkinov, med Rodikom, Kačičami in Danami priteka na Divaški Kras troje ponikalnic. Največja je Hudournik, ki ponikne pod Danami. Zahodno od njega je do pred nekaj desetletji še tekel Kačiški potok, pa je od njega danes ostal le odsek na flišu pri Rodiku. Najzanimivejši je Golobert, ki po kratkem toku po apnencih ponika v 170 m globokih Mejamah vzhodno od ponorov Hudournika.

Potoki odmakajo litološko enake kamnine, Hudournik in Golobert pa imata tudi enako veliki porečji. Kontaktni kras, ki je nastal ob njih, zavzema le 2,6 km² veliko površje Divaško-kačiškega ravnika, vendar pa so ob posameznih ponikalnicah nastale pomembne morfološke razlike. Te lahko pripišemo predvsem razliki v obliki kontakta ter strukturno pogojeni razvitosti krasa.

DOSEDANJA PROUČEVANJA

Dosedanja morfološka proučevanja Divaškega Krasa so bila usmerjena predvsem na največjo ponikalnico Reko ter razvoj njene doline. Predkraška predhodnica Reke naj bi tekla po površju čez Kras še v pliocenu, o čemer pričajo nivoji na pobožjih Vremščice in Brkinov, Divaški kras kot dno predkraške doline ter pet teras med Divaško stopnjo in aluvialno ravnico ob Reki v Vremski dolini (D. Radinja, 1967, 196).

V kasnejših morfoloških proučevanjih Krasa je P. Habič (1984, 1986) opozoril na pomemben vpliv strukture. Ta se odraža v razporeditvi večjih reliefnih enot, kot so ravniki in

vmesni višji hrbti ter doli, ki ločijo posamezne enote višjega sveta. V Krasu pa se odraža tudi neposredni vpliv mlade tektonske dinamike.

Kontakni kras med Rodikom in Danami, površje in jame omenjajo pri razvoju Škocjanskih jam. I. Gams (1967, 1983) je opozoril na različno oblikovane doline flišnih potokov na apnencu. Sušica ohrani ozko dolino tudi v apnencih, ki jih prečka, Golobert dolino v apnencu malo razširi, Hudournik pa je izdelal široko dolino. Te razlike je avtor pripisal razliki v kemijskih lastnostih voda. Meni tudi, da je Tiho jamo v Škocjanskih jamah izdelala voda iz teh ponikalnic. Podobnega mnenja je tudi P. Habič (1972).

Podrobno so bile preučene tudi slepe doline na južni strani Brkinov, začenši z Brezovico (I. Gams, 1962, 1974).

V speleogenetskih raziskavah Divaške jame, Trhlovce in Škocjanskih jam je R. Gospodarič (1983, 1985) s pomočjo fluvialnih jamskih sedimentov in datacij sige iz Tihe jame določil in datiral poglobitve razvojne faze teh jam. Srednjepleistocenski sedimenti kažejo umirjeno sedimentacijo v položnejših rovih, kot so kasnejši würmski ali holocenski.

TOPOGRAFSKA OZNAKA RELIEFA

Obravnavano območje zavzema del Divaškega Krasa, ki se podaljšuje v reliefno vrzel med Ajdovščino (804) in Veliko Gradišče (742). Ta del imenuje P. Habič (1983, 14) tudi Divaško-kačički ravnik.

Del tega ravnika, ki kaže značilnosti kontaknega krasa, omejuje na vzhodu flišno sleme Loze in Robide. Sleme se nadaljuje v Strahnjaku (518) in Volariji (511), ki pa sta že na apnencu. Proti severu ga omejimo s Prevalom (475), oziroma velikima udornicama Sekelakom in Globočakom.

Na zahodu brez izrazitega prehoda prehaja preko Planine (468) in vrtačaste uvale zahodno od nje v Divaško-kačički ravnik. Na jugu je omejeno s Kraško stranjo (609) in neizrazitim prevalom pri Rodiku, kjer se odpre v široko Podgrajsko podolje.

Najvišje se vzpne površje na flišu v Ajdovščini (804), najnižji pa je svet pri ponoru Goloberta (400), ter na Danskem polju (429). Višinska razlika med skrajnima točkama je velika, vendar odpade večji del razlike na površje na flišu. Površje na apnencih je uravnano ter leži večinoma med višinama 450 m in 500 m. Vanj so poglobljene le slepe doline pod Danami ter uvala zahodno od Planine (468 m).

GEOLOŠKE RAZMERE

Kontaktni kras pri Kačičah je nastal ob zahodnem robu Brkinov ob stiku paleocenskega fliša in apnenca. Po Osnovni geološki karti 1:100 000, list Trst leže flišne plasti na apnencu in tvorijo sinklinalo z osjo v smeri SZ–JV. V severnem delu pri ponorih Goloberta, Volariji in Prevalu vpadajo plasti pod kotom 20–30° proti jugozahodu, v dolini med Rodikom in Kačičami pa strmo proti severovzhodu (65/45°). Kontakt je normalen, fliš se je odložil na apnen-

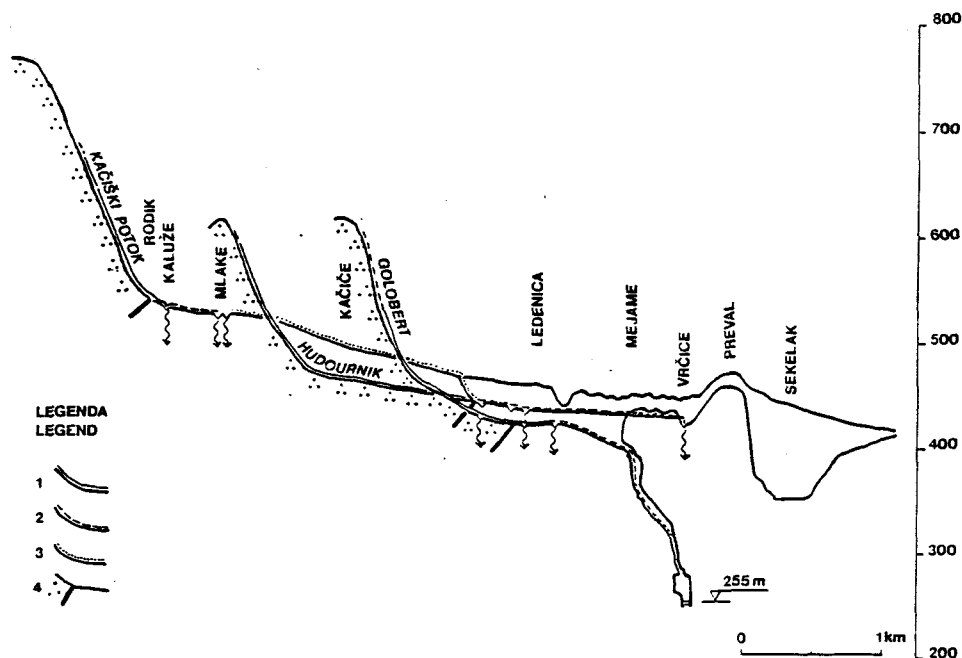
ce. Sestavljajo ga plasti peščenjaka in laporja. Ob prehodu v apnence je debel paket lapornih plasti.

Kontakt poteka v smeri vzhod–zahod južno od Strahnjaka (518) proti Paredu. Pod naplavljenim dnom zavije proti jugu. Sledimo ga lahko šele v zahodnem boku doline Globokega potoka. Kontakt je nekaj metrov nad dnom doline in struge potoka, ki je vrezana že v lapornate plasti. Za prevalom med Brdcem in Lozo ter Rodikom stik poteka proti jugu in jugovzhodu. Pokrit je z naplavino ter ga ne moremo natančno določiti.

Karbonatne kamnine predstavljajo paleogenski apnenci. So drobnoskladnati ter mestoma močno pretrti. Prevladuje gost, numulitni in alveolinski temen apnenec.

HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI PONIKALNIC

Potoki so ob visokem vodostaju trije. Domačini jim rečejo enostavno potok, ločijo pa pritoke po ledinskih imenih, od koder pritekajo.



Sl.1 Vzdolžni preseki dolin Goloberta, Hudournika in Kačiškega potoka

1 - stalni tok, 2 - občasni tok, 3 - suha siruga, 4 - kontakt fliš-apnenec

Fig.1 Longitudinal sections trough of Golobert, Hudournik and Kačiški potok valley.

1 - permanent water flow, 2 - periodical water flow, 3 - dry river bed, 4 - contact flysch-limestone

Na topografskih kartah in v strokovni literaturi se je udomačilo nekaj imen, katerih raba ni enotna. Za potok, ki je nekoč tekkel od Rodika mimo Kačič do Ledenice ali na Dansko polje, uporabljam ime Kačiški potok; za potok, ki teče po Danskem polju pa Hudournik. Globoki potok je ime dela tega potoka, oziroma bolj ledinsko ime grape glavnega kraka Hudournika. Tretji potok je Golobert, ker priteka iz dela Brd (Brkinov), ki se imenujejo Golobirti. Ta potok ponika v Mejamah (sl. 1).

Kačiški potok zbira vodo na zahodni strani flišnega slemena Loza severno od Rodika. V strma nerazčlenjena pobočja je vrezal le plitve grape, ki odmakajo 0,4 km² flišnega površja. Ob nizkih vodostajih ponika voda že v flišu na pregibu pod strmim pobočjem Loze. Pretok potoka je majhen se hitro spreminja. Ob času proučevanja spomladi 1989 je pretok nihal med 5 in 15 l/s.

Ob normalni vodi teče potok do Kaluž, kjer ponikne v rupah v aluvialnih grezih. Ob višji vodi pa se podaljša za 300 m do ponorov v Mlakah pri železniški postaji Rodik (sl. 2).



Sl.2 Aluvialni grez, občasni požiralnik Kačiškega potoka v Mlakah pri železniški postaji Rodik.

Fig.2 Aluvial sinkhole, periodical ponor of Kačiče stream near Rodik railway station.

Pod ponori je vidna v dnu doline plitva živoskalna struga, vendar je voda po njej nazadnje tekla pred kakimi 30 leti. Pod Kačičami je potok sprva tekel po planem svetu ravnika, potem pa zavil proti vzhodu in se spustil do doline Hudournika pri Paredu. O tem še priča suha struga v dnu suhe doline. Struga je bila opuščena potem, ko so pričeli pridobivati led pri Ledenici ter so z umetnim nasipom preusmerili potok proti severu.

Hudournik dobi vodo iz Globokega potoka in izpod Potoč in Loze. Le ob visoki vodi še priteče na Dansko polje. Vodo dobiva z $0,8 \text{ km}^2$ flišnega površja, z zahodne strani, z apnenca pa nima pritokov.

Voda se zbira v globokih grapah v flišu. Ob nizkem vodostaju potoki poniknejo, že ko pridejo do glavne doline. Ta je vrezana v lapor ob stiku med flišem in apnencem. Glavna dolina ima v spodnjem delu ravno naplavljenno dno, ki se od Pareda navzdol razširi v Dansko polje. Normalne vode teko do Pareda, tu pa se izgublja v naplavini. Ob vzhodnem robu ravnice so pri Paredu zatrpni ostanki požiralnikov, potok pa je po umetni strugi speljan mimo. Struga v spodnjem delu prečka Dansko polje po 2–3 m visoki izgonski strugi ter se izteče v Vrčice. To je vrtača, v kateri so v rupah v aluviju požiralniki visoke vode.

Tretji potok je Golobert. Vodo zbira z vzhodne strani istega slemena kot Hudournik. Ima simetrično porečje na flišu, z globoko vrezanimi grapami. Odmaka $0,8 \text{ km}^2$ veliko flišno vodozbirno območje. Ko zapusti fliš teče še 500 m po apnencih. Sprva teče po lastni naplavini, po 300 m pa v apnenec vrezanem kanjonu, ki je v sklepnem delu pred Mejamami globok 20 m.

Golobert začne izgubljati vodo že v naplavini v delu struge, ki je v laporjih, ob srednjem vodostaju pa ponika takoj, ko priteče na apnenec v dnu slepe doline. V kanjonskem delu doline in v jamo teče le še po dežju.

Ponikalnice odmakajo okrog 2 km^2 površja Brkinov. Vodozbirni del povodij potokov je na flišu, v srednjem delu prečkajo pas laporjev, potem pa tečejo po apnencih, kjer nimajo več pritokov. Vodo izgublja že v lapornih plasteh v flišu.

Ob času opazovanja, v nadpovprečno suhih mesecih od februarja do aprila 1989, so imeli potoki naslednje pretoke:

Kačiški potok okrog 5 l/s, voda je ponikala v Kalužah, vendar je v razmaku dveh mesecev dvakrat po dežju tekla v ponore v Mlakah pri železniški postaji Rodik.

Hudournik je tekel do Pareda z okrog 2 l/s, po dežju pa je enkrat pritekel do Vrčic.

Golobert je imel okrog 15 l/s pretoka. Voda je tekla v kanjon in v jamo večkrat, tedaj je pretok narasel po oceni na preko 100 l/s. Po dežju voda hitro upada, tako se je dan po blagem dežju, 12. 4. 1989 voda izgubljala v strugi tik pred Mejamami, po šestih urah pa je ponikala že kakih 100 m višje v strugi.

Vzorci vode so bili zajeti dvakrat, kar lahko nudi le orientacijske podatke za kemijske lastnosti voda. Potoki dosežejo trdote do 176 mg CaCO_3 na liter že na flišu ter vsebujejo 30–42 mg raztopljenih nekarbonatov.

Potok Golobert je ob času našega obiska ponikal že pred jamo. V jami se je pojavljal vodni tok s precej višjo karbonatno (190 mg CaCO_3), a nižjo nekarbonatno trdoto (13 mg/l).

Pregled kemijsko-fizikalnih svojstev ponikalnic:

7.4.1989	: Q :l/s	: T _v :°C	:pH :	:SEP* :Scm ⁻¹	Trdote			
					:mg CaCO ₃ l ⁻¹ :Karb	Ca	Ca+Mg	Nekarb
Kačiški potok-Kaluže	: 4	: 8,0	:7,3	:411	:176	:195	:217	:42 :
Hudournik-Pared	: 2	: 8,1	:8,8	:403	:176	:185	:217	:42 :
Golobert - fliš	:15	: 8,8	:8,1	:390	:171	:179	:209	:30 :
Golobert - Mejame	:10	:10,5	:8,1	:397	:173	:181	:211	:31 :
12.4.1989								
Golobert - Mejame	: 5	:10	:8,1	:389	:172	:176	:210	:34 :
Mejame - toč.13.	: 3	: 8	:7,9	:397	:190	:203	:216	:13 :
Mejame-jezero na dnu	: -	: 8	:7,4	:369	:169	:181	:196	:15 :
Mejame- curek toč.19	:0,2	: 8	:7,8	:364	:176	:192	:206	:14 :

*Specifična električna prevodnost

Očitno je jama v tej hidrološki situaciji odvajala le curke penikajoče padavinske vode, Golobert pa je tekkel po neznanih nižjih kanalih.

Strmec potokov je v gornjem delu – v flišu velik ter znaša pri Kačiskem potoku 20,0 %, Hudourniku 15,7 % in Golobertu 11,3 %. Na apnencih je strmec manjši (3,7–5,5 %), le pri Golobertu pred ponorom naraste. Največji strmec pa ima Golobert v Mejamah, kar 42,4 %.

Zaradi velikega strmca na flišu imajo potoki izrazit hudourniški režim. Izgubljanje vode na robu apnencev pa še povečajo razlike v pretokih.

Vsi potoki so močno prodonosni. Med plavjem prevladujejo nezaobljeni kosi flišnega peščenjaka ter drobnejši nezaobljeni delci laporja. Flišni prodniki so največji pri Golobertu, ter dosežejo velikost do 25 cm pred vhodom v Mejame. Apneni prodniki so le v spodnjem toku Goloberta in v Mejamah.

Največ nanosa s fliša je v dnu Danskega polja, kjer so sedimenti debeli prek 3 m. Menjuje se droban prod s plastmi peščene ilovice. Podobno gradivo še danes prenaša Hudournik do ponorov v Vrčicah.

Hitrost nanašanja plavja kaže umetna izgonska struga, po kateri teče Hudournik v dolžini 1 km 2–3 m nad ravnico polja. V njej je po oceni preko 10 000 m³ plavja, ki je bilo prineseno sem v zgodovinskem času. Prodonosen je bil tudi Kačiški potok, ki je tekkel pod Kačičami po umetno dvignjeni strugi.

MORFOLOGIJA KONTAKTNEGA KRASA PRI KAČIČAH

Kontaktni kras med Rodikom, Kačičami in Danami zavzema okrog 2,6 km² površja Divaško-kačiškega ravnika v vzhodju Brkinov. Na eni strani je to površje omejeno s kontak-

tom fliš – apnenec, na drugi pa postopoma prehaja v povsem kraško površje, ki je najbolj izraženo s pojavi vrtač (sl.3).

Število in gostota vrtač naraščata proti severozahodu v skladu z oddaljevanjem od kontakta s flišem. Prevladujejo plitve vrtače, premera do 50 m in globine do 10 m. Večina vrtač kaže znake obdelave ter so močno antropogeno spremenjene.

V nadaljevanju suhe doline in toka Kačiškega potoka severno od Ledenice je gostota vrtač največja v plitvi depresiji, kjer dosega gostoto do 75 na km². Lega in oblika depresije navaja na misel, da gre za staro fosilno slepo dolino Kačiškega potoka (I. Gams, 1967), iz katere so bile že izprane morebitne naplavine.

Po oblih slemenih so vrtače redke ali pa jih sploh ni. Nekaj vrtač je v dolini Goloberta. Te so bile zasute s sedimenti, ki pa se sedaj hitro spirajo v podzemlje. Po legi izstopa tudi vrtača sredi suhe doline med Rodikom in Kačičami severno od ponorov Kačiškega potoka.

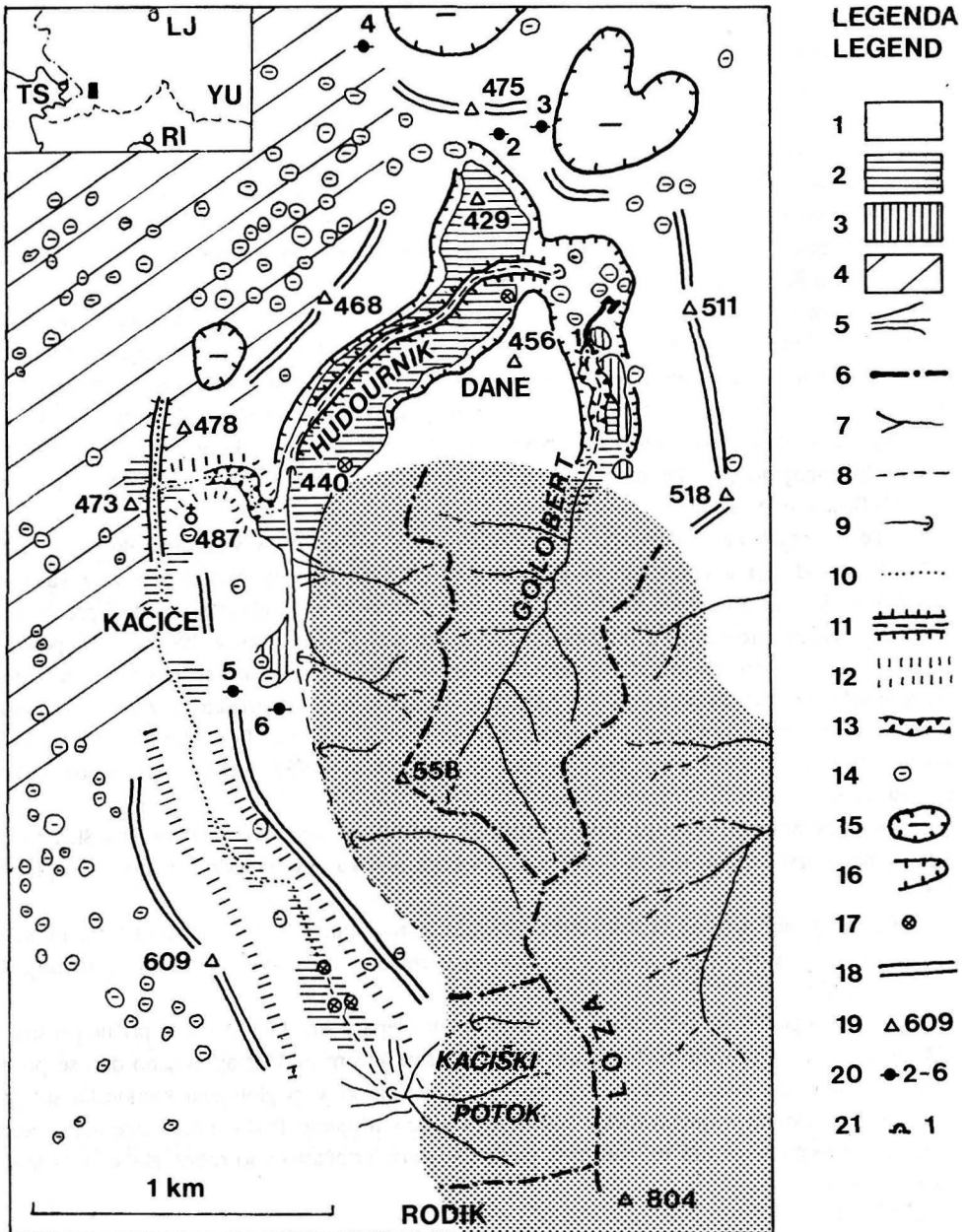
Kontaktni kras je nastal, ko so pričeli potoki ponikati pod vznožjem Brkinov severno od Dan, kjer je nastala obsežna robna globel v višini med 430 in 450 m. Enakomerno, proti severovzhodu nagnjeno površje na apnencih je ohranjeno še pod Velikim Gradiščem in v slemenih Brdca ter Volariji.

Tej stopnji razvoja krasa po višinah odgovarjajo višine rovov v Jami na Prevali II (kat št.1094). Vhod leži v višini 465 m jugovzhodno od vrha Prevala. Nastal je z zniževanjem površja, ki je doseglo debele plasti sige, odložene v razpoki nad velikimi, s podori preoblikovanimi jamskimi prostori. Te predstavlja enostaven rov v višini okrog 390 m. Rov poteka približno v smeri vzhod–zahod. Na vzhodni strani se zniža ter je zasut s sedimenti, na zahodni pa se konča ob močnih prelomih. Ob njih lahko pridemo še v korozijska brezna ter v kratek splet majhnih rovov, iz katerih se izpira laminiran ilovnat sediment. Ilovnatih naplavin je veliko tudi v glavnem delu jame. Po njih sodi R. Gospodarič (1983, 45) na staropleistocensko starost jame.

Ostanek Starega vodnega rova predstavlja tudi 10 m dolgi rov Jazbine (kat.št. 2361). Leži v nadmorski višini 464 m v dolini Globokega potoka pod zahodno strmo steno plitve vrtače.

Ostale jame, Škrljica (kat.št.1096), Perduča jama (kat. št.1116) in Jama I na Prevali (kat.št.1094), so jame, ki so nastale z vertikalnim prenikanjem padavinske vode ali podiranjem starejših votlin.

V robno globel sta poglobljeni dve slepi dolini. Slepa dolina Goloberta se prične pri stiku fliša in apnenca z ravnim naplavljenim dnom v višini 426 m (sl.4). Naplavljenno dno se proti severu znižuje do višine 420 m s strmcm 1,5 %. Vanjo je poglobljena kanjonska struga Goloberta, ki doseže najnižjo točko 400 m pri vходу v Mejame. Prelivni rob slepe doline nad jamo je v višini okrog 425 m, nad njim pa se nadaljuje vrtačasto dno robne globeli v višinah okrog 430 m.



Sl.3 Geomorfološka skica kontaktnega krasa pri Kačičah

Fig.3 Geomorphological sketch of contact karst at Kačiče



Sl.4 Ravno naplavljenno dno slepe doline Goloberta.

Fig.4 Flat alluvial bottom of Golobert blind valley.

Sl.3 Geomorfološka skica kontaktnega krasa pri Kačičah

Fig.3 Geomorphological sketch of contact karst at Kačiče

LEGENDA - LEGEND

1. fliš - flysch

2. recentna flišna naplavina - recent flysch sediments

3. star flišni nanos - old flysch sediments

4. Divaško-kačičski ravniki - Divača-Kačiče plain

5. vršaj - alluvial fan

6. razvodnica - watershed

7. stalni tok - permanent stream

8. občasni tok - periodical stream

9. ponor - ponor

10. suha struga - dry river bed

11. umetna struga - artificial river bed

12. suha dolina - dry valley

13. kanjon - canyon

14. vrtača - doline

15. udornica - collapse doline

16. slepa dolina - blind valley

17. aluvialni grez - alluvial sinkhole

18. široko sleme - flat crest

19. kota - Hill

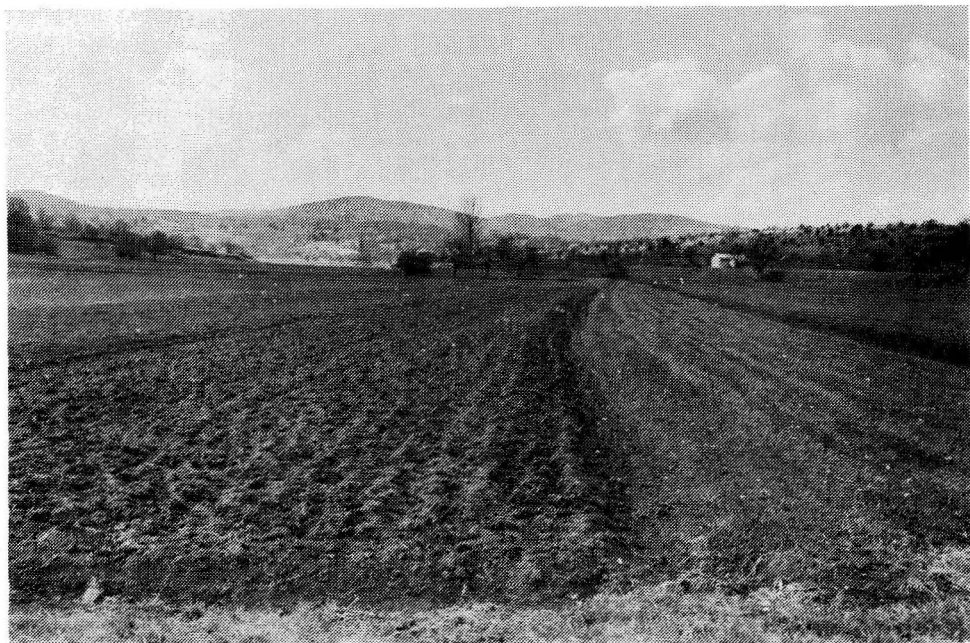
20. jama - cave: 2 Jama II na Prevali, 3 Jama I na Pre-

vali, 4 Jama v Škrljici, 5 Perduča jama, 6 Jazbina

21. ponorna jama Mejame- ponor cave Mejame

Nad dnom slepe doline je v isti višini ohranjena stara akumulacijska terasa. Na njej najdemo preperel fluvialni nanos z redkimi ohranjenimi prodniki iz flišnega peščenjaka.

Naplavljeno dno slepe doline Hudournika se prične nad Potočami v višini 445 m ter se spušča do dola Podpreval, ki je v višini 428 m. Na dolžini 1,5 km se dno spusti za 17 m ter ima 1,13 % strmca (sl.5).



Sl.5 Slepa dolina Hudournika pod Danami. Ob robu ravnice teče Hudournik po dvignjeni izgonski strugi.

Fig.5 Blind valley of Hudournik stream near Dane.

V gornjem delu je dolina na stiku flišnega laporja in apnenca, pod Paredom pa v celoti v apnencu. Pri Paredu so v naplavini vidni tudi ostanki ponorov, struga Hudournika pa je regulirana ter speljana mimo. Dolgotrajna kmetijska izraba dna Danskega polja je zabrisala sledove morebitnih starejših ponorov v naplavljenem dnu.

Melioracija potoka je že stara. Umetna izgonska struga Hudournika je pri Paredu 3 m nad ravnico, v severnem delu polja pa še 1–2 m. Tu je potok speljan iz slepe doline v skupino vrtač, kjer ponikne. Do tu priteče potok le še po dežju.

Obod doline je proti vzhodu bolj razčlenjen in predvsem nižji. Na najnižjem delu (431 m) pa je še prekopan, tako da lahko Hudournik teče v Vrčice v požiralnik v višini 428 m. Stari ponori potoka so bili na najnižjem delu polja v dolu Podpreval, okrog 2 km severo-

zahodno od ponora Goloberta.

Poglobitev slepih dolin v robno globel je očitno sprožila neka sprememba zunaj obravnavanega ozemlja. R. Gospodarič (1984) je pri primerjavi rogov in sedimentov v Škocjanskih jamah ugotovil hitro vrezovanje Reke v Hankejevem kanalu in spiranje starejših sedimentov v würmu.

Verjetno je ta sprememba vplivala tudi na vglobitev slepih dolin. Tu se je pojavila razlika med dolino Goloberta in Hudournika. Potoka, ki imata enako veliko porečje z vodo enakih lastnosti sta oblikovala različni slepi dolini. Vzrok lahko iščemo v obliki kontakta. Golobert prečka kontakt pravokotno ter ponika v strugi ali v Mejamah. Vanje tečejo in spirajo naplavinno tudi srednje vode. Hudournik teče vzdolž kontakta, pritoki pa pritekajo s fliša. Ob normalnih vodah ti poniknejo, ko dosežejo glavno dolino. Le ob visokih vodah, ko je prodonosnost največja, priteka Hudournik do konca slepe doline. Pri tem močno naplavlja, sedimenti pa ostajajo na površju, saj jih v podzemlje lahko spere le deževnica. Naplavina je prepustna ter omogoča talno korozijo.

Kačiški potok ponika pri Rodiku, takoj ko priteče na apnence. Pod ponori se prične obsežna suha dolina z dnom v višini 530 m. Vrezana je med Gabrovo stran (609) in Brdce (560). Pod Kačičami se ta dolina široko odpre v Divaško–kačiški ravniki. V njenem dnu je vrezana plitva, sedaj suha struga, po kateri je tekel potok do Kačič.

Suho dolino je izdelal Kačiški potok tudi pod Kačičami. Poteka prečno skozi greben, ki se z Brdca znižuje proti severu v višinah 478 – 487 m. Dno doline pa je pod Kačičami v višini 473 m, potem pa se spusti do Danskega polja pri Paredu na višino 442 m. Struga Kačiškega potoka, ki je v suhi dolini med Rodikom in Kačičami plitva, se tu poglobi v do 5 m globok kanjon. Po njej je tekla voda, dokler jo niso v prejšnjem stoletju speljali proti Ledenici.

Dve fazi v razvoju lahko opazujemo tudi pri dolini Kačiškega potoka. V prvi fazi, ko je bil še pritok Hudournika, je izoblikoval široko dolino med Rodikom in Kačičami. Potok je pritekal na Divaško–kačiški ravniki, potem pa ga je nase pritegnil Hudournik, o čemer pričča prečna dolina med Kačičami in Paredom.

Z razvojem, ki je omogočil poglobitev Reke v Škocjanskih jamah, je postal kras veliko bolj prevoden ter je potok začel izgubljati vodo že na začetku svojega 3,5 km dolgega toka čez apnence. Zmanjšan pretok potoka je zmanjšal tudi njegovo prodonosnost, zato je več naplavine le pod Rodikom. V spremenjenih pogojih je potok lahko oblikoval le še ozko in plitvo, danes suho strugo.

MEJAME

Edina dostopna aktivna in s tem morfološko pomembna jama v tem kontaktnem krasu so Mejame (kat.št.843).

Prva raziskovalca Mejame sta bila J. Marinitš in F. Müller. Raziskala sta jamo do zožitve, Sifona, v srednjem delu. Ta ožina je občasno tudi zasuta z dračjem, lahko pa je tudi pravi sifon. Skozi kritično točko sta se približala 1905 leta dr. B. Wolf in V. Winkler. V njuno poročilo

pa so dvomili, zlasti še, ker člani tržaškega jamarskega društva Hades kljub trem poizkusom niso mogli prodreti skozi ožino. To je uspelo šele jamarjem na združeni akciji društev Hades, Grazer Vereins für Höhlenkunde in Reinisch-Westfälischen Höhlenforschvereins Pluto. Prebili so se skozi kritično mesto ter 25. julija 1905 dosegli dno jame. Na tej odpravi so jamo izmerili in načrt s poimenovanji posameznih delov jame tudi objavili. (F. Mühlhofer, 1909, 216). Pri merjenju pa je očitno prišlo do napake, ki je imela za posledico pretirano globino jame (227m).

Meritev Mejam so ponovili 1974 člani Jamarskega društva Logatec, 1989 pa sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Nove meritve so pokazale globino 170 m. Vse meritve so bile opravljene z ročnim kompasom in naklonometrom ter imajo stopnjo natančnosti 5 po BCRA lestvici (B. Ellis, 1976)(sl.6).

GEOLOŠKE OSNOVE

Dostopni rovi Mejam so nastali v paleocenskih, numulitno alveolinskih skladovitih apnencih. Plastnatost lahko opazimo le na nekaj mestih, predvsem v spodnjem delu jame, kjer plasti vpadajo pod kotom 25° proti jugozahodu. Apnenci so v gornjem delu svetlo, v spodnjem delu jame pa temno sivi, skoraj črni. Razlika v kamnini se na oblikovanosti rova ne izraža.

Pomembnejše kot plastovitost so v jami številne prelomne ploskve in razpoklinske cone, katerih vpliv se nedvomno izraža v obliki in položaju jame.

Pred Mejamami si je potok Golobert izdelal 200 m dolg, do 20 m globok kanjon v razpoklinski coni, ki poteka v smeri sever-jug. Razpoklinska cona je iz usmerjenih snopov razpok z vmesnimi 20–50 cm širokimi lamelami nepoškodovane kamnine. Razpoke so dobro izražene, številne pa so še korozijsko razširjene. Posamezni odseki kanjona sledijo tudi drugim, prečnim prelomom, zato kanjon večkrat ostro zavije. Ob presečiščih prečnih razpok in glavne razpoklinske cone so nastali v strugi potoka tudi manjši skoki.

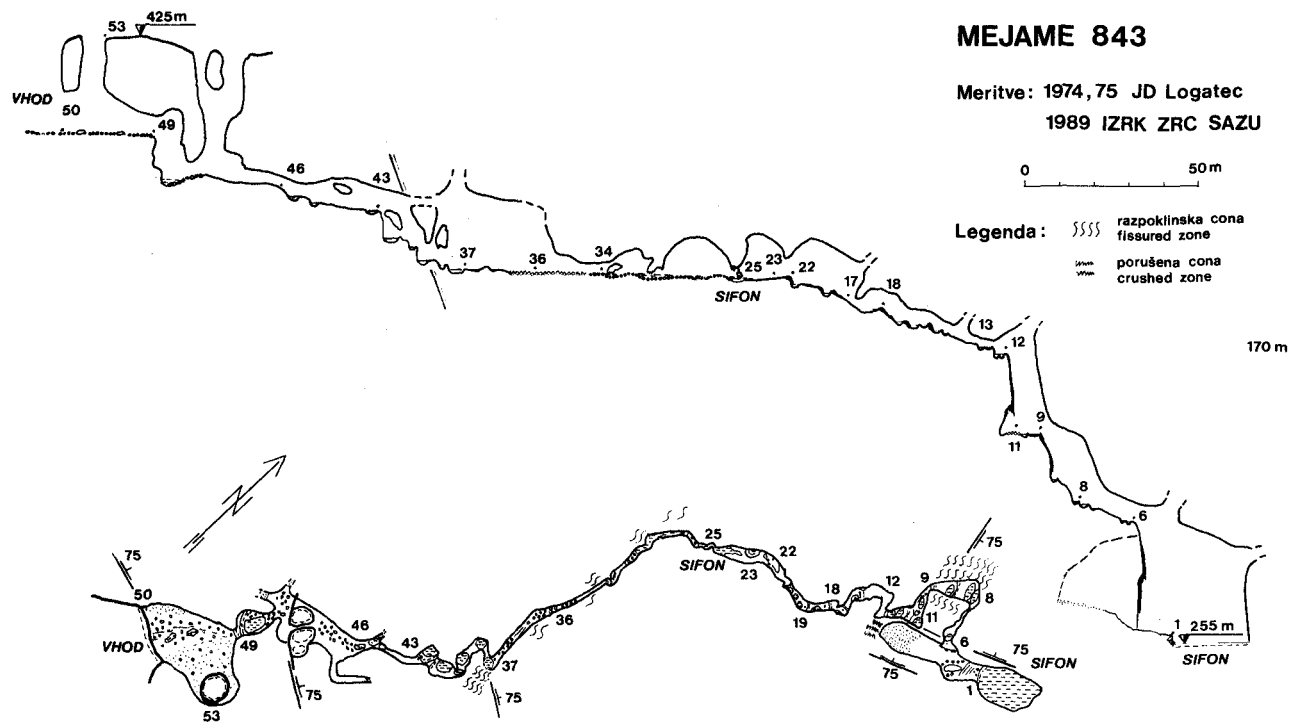
Kanjon se konča pred navpično steno, ki je nastala ob prelomni ploskvi v smeri 290° . Pod njo se odpira spodmolast vhod v Mejame. Smer prelomne ploskve močno povija ter ima vpad od 90° do 45° .

Razpoklinska cona, ki ji je kanjon sledil, v steni nad vhodom ni več izrazita. Njeno nadaljevanje lahko sledimo šele v severni steni spodmola v lečasti strukturi med dvema horizontalnima prelomnima ploskvama.

Okrog 30 m severno prečka jamo vertikalna prelomna ploskev v smeri 290° , ob njej je nastala dvorana, ki jo s površjem vežejo tri brezna.

Med točkama 43 in 37 poteka rov ob drsni ploskvi preloma, ki vpada kotom 75° proti severu. Ob prelomu se rov spusti v nekaj skokih za 15 m. Pod skoki so velike erozijske kotlice z ujeto vodo.

Rov med točkama 37 in 25 poteka v smeri razpoklinske cone in je skoraj vodoraven ter ozek in visok. Na nekaj mestih priteka skozi strop sigotvorna voda. Najmočnejši pritok je pri



Sl.6 Načrt ponorne jame Mejame.
Fig.6 Groundplan of cave Mejame.

točki 23, tu je nastala tudi velika sigova kopa. Pod točko 25 rov razpoklinsko cono prečka, v povečanem strmcu si slede majhni, do 2 m visoki skoki, erozijski žlebovi in kotlice.

Med točkama 13 in 6 je rov v razpoklinski coni, ki poteka v smeri 330° ter vpada 75° proti severovzhodu. Deli rova, ki so v smeri razpoklinske cone so vodoravni ali blago nagnjeni, prečni deli pa navpični ali pa imajo naklon 75° .

Končna dvorana po dimenzijah in obliki odstopa od ostale jame. Njeno južno in severno steno tvorita prelomni ploskvi z vpadom $340/75^{\circ}$. Dvorana je nastala, ko je vodni tok odnesel zdrobljeno kamnino tektonsko porušene cone med ploskvama, samih prelomnih ploskev pa ni načel.

HIDROLOŠKE POTEZE MEJAM

V Mejamah ponika Golobert ob visokih normalnih vodah. Večji del leta pa ponika v lastni strugi. Ob obiskih spomladi 1989 je potok običajno ponikal že 250 m pred jamo, v višini 420 m. Pretok potoka je bil okrog 15 l/s.

Po dežju potok močno naraste, tedaj poplavi danjo ravnico v flišnem delu doline na apnencih, v kanjonu pa naraste nekaj metrov. V jami poplavlja le dele rova pred ožinami.

Kadar ponikne Golobert že v strugi pred jamo, je vhodni del Mejam suh. Vodni tok se pojavi šele pri točki 36 in odteka do končnega sifona. Ob višjih vodah postane jama nedostopna zaradi slapov in dveh sifonov v srednjem delu.

Poleg Goloberta priteka v jamo še nekaj curkov prenikle padavinske vode. Najmočnejši curki se pojavljajo v jami v vodoravnem delu med točkami 22 in 34. Voda teh curkov odlaga veliko sige.

V končnem sifonu je bila gladina vode ob času vseh dosedanjih obiskov na višini 255 m, po plavju na stenah sodeč pa se lahko dvigne za več kot deset metrov. Kam odteka voda ni znano, verjetno pa pripada povodju Reke. V sifonskem jezeru smo opazili tudi proteuse.

MORFOLOŠKI OPIS MEJAM

Mejame so enostaven, nerazvejan ponorni vodni rov s tremi večjimi prostori. Prečni profili rova kažejo dokaj enotno podobo. Rov je pri tleh širok od 1–2 m in visok do 10 m. Izjemoma je višji pod skoki, kjer je na udarnih mestih pod slapovi v breznih tudi širši. V profilu rova ni opaznih razširitev, ki bi kazale na zastajanje pri vrezovanju in tedaj močnejše bočno širjenje rova.

Vzdolžni profil kaže položnejši vhodni in strm končni del jame. Položni del jame je v višini struge ponornice pred vhodom v jamo v višini 400 m. Sledi skok 15 m ter odsek rova v višini 380 m. V tem delu je nastala večja dvorana s tremi vhodi v stropu. V dvorani ter v nadaljevanju jame do točke 43 je troje kratkih, s sedimenti zasutih rovov.

Sledi strmi odsek rova ob prečnem prelomu. V njem je nastalo več okroglih erozijskih kotlic. Največji vodoravni odsek rova poteka v razpoklinski coni v višini okrog 350 m.

V razpoklinski coni v spodnjem delu jame med točkama 13 in 6 postane rov strm. Kjer rov poteka v smeri cone je vodoraven ali blago nagnjen, prečno nanjo pa so nastala brezna.

V tlorisu sledi jama dvema smerema. Dominantna je prečnodinarska smer. Deli rova, ki leže v tej smeri so širši, v njih pa so tudi razširitve in strmejši odseki in brezna. Deli rova v smeri sever–jug so ožji ter položnejši.

Poleg rogov so v Mejamah nastale tudi tri dvorane. Vhodna dvorana je nekakšen spod-mol. Druga dvorana, ki ima v stropu še tri vhodna brezna je nastala ob prelomni ploskvi, za nastanek pa sta pomembna tudi dva fosilna, s sedimenti zatrpana rova v njenem južnem delu. Končna dvorana je nastala v prelomni coni iz katere je voda odnesla kamninski drobir poru-šene cone.

DROBNE OBLIKE

V jami prevladujejo erozijske in korozijske oblike, ki jih je oblikovala ponornica. Erozijski žlebovi so nastali v dnu struge. Oblikujejo jih visoke vode, ki s seboj po dnu rova nosijo droben prod in pesek (sl.7). Največji žlebovi so v sigi, ki je bila odložena v dnu rova v eni prejšnjih morfo-genetskih faz.

Na mestih, kjer ima rov večji strmec, so nastale stopničasto razvrščene erozijske kotlice. Dolge so do 3 m in globoke okrog 1 m. So ožje kot rov ter so verjetno nastale s poglobitvijo erozijskih žlebov.

Podolgovate kotlice so nastale tudi v razpoklinski coni pod večjimi skoki, vendar so tam podaljšane v smeri razpok lahko tudi prečno na potek rova. Te kotlice so tudi globlje, nekatere so globoke preko 2 m (sl.8). Večje okrogle kotlice, s premerom do 3 m so v gornjem delu jame pod brezni ali kjer rov spremeni smer. Globoke so do 1 m.

Fasete so na številnih mestih v jami. Najdemo jih lahko tudi v erozijskih kotlicah, vendar le v delu, ki ni direktno pod vplivom erozijskega učinka vodnega curka. V končni dvorani, na njeni severovzhodni steni, ki jo tvori strma prelomna ploskev so nastali okrog 10 m visoki žlebiči. Očitno jih je izdelala voda, ki priteka iz medskladne razpoke više v steni.

V stropu ozkega rova, ki se iz vhodnega dela jame prevesi v brezno, je ohranjen stropni kanal. Njegov nastanek je povezan z zapolnitvijo tega dela jame s sedimentom, ki je v vhodnem delu mestoma še ohranjen.

Posebne oblike nastajajo v jami tudi z razpadanjem in drobljenjem kamnine. V dostopnem delu jame, po dnu in stenah nekaj metrov nad dnom prevladuje erozijsko oblikovano površje skale. Kjer je stržen vodnega toka usmerjen pravokotno na steno, se poznajo udarci prodnikov. Ti sledovi so različno veliki. Od drobnih komaj otipljivih vdolbinic, ki jih naredijo udarci posameznih prodnikov na sicer gladki površini, do popolnoma razbite površine, omeje-ne z ravnimi odlomnimi ploskvami. Takšna mesta so pod slapovi, pa tudi v vodoravnih delih jame, pri točki 25 celo dva metra od dna rova. Na tem mestu zapira del rova siga, skozi prosto odprtino med sigo in skalo pa teče voda ob poplavih ter meče prod v nasprotno steno.



Sl.7 Svež erozijski žleb v sigi, ki je odložena v dnu rova pri točki 17.

Fig.7 Erosion chanell in old sinter deposit at point 17.

Oblike skale nastale s klastičnimi procesi so redke. V vhodnih delih razpada kamnina v grušč intenzivno le v razpoklinski coni pod vplivom zmrzali, v končni dvorani pa v porušeni coni.

SEDIMENTI V JAMI

Od recentnih sedimentov prevladujeta v jami prod in pesek, ki ju v jamo prinaša Golobert s fliša, posamezni apneni prodniki pa izvirajo iz kanjonskega dela doline. Pri vходу v



Sl.8 Erozijske kotlice v razpoklinski coni. Nad jamarjem je viden erodiran ostanek sigove zapolnitve rova.

Fig.8 Rock mills in joint zone. Above the caver there is a massive remains of older sinter fill of the gallery.

jamo dosežejo flišni prodniki do 25 cm premera. Prod je slabo zaobljen zaradi kratkega transporta. Globlje v jami je prod le v erozijskih loncih in položnejših delih rova.

Z globino se povečuje delež apnenčastih prodnikov. So večji od flišnih ter bolj zaobljeni. Na povečevanje deleža apnenčastih prodnikov z oddaljevanjem od ponora je v sistemu Škocjanske jame–Kačna jama opozoril že A. Kranjc (1986). V Mejamah je običajno v erozijskih loncih nekaj velikih apnenčevih prodnikov ter droben flišni prod in pesek.

V sedanjih razmerah se siga izloča predvsem na stenah, tako da so v razpoke vkleščene veje ob dotoku sigotvorne vode obdane z nekaj centimetrov debelo sigovo skorjo.

Od točke 23 do dna jame je odložena na dnu rova do 1 m debela plast porozne sige. Vodni tok jo erodira, v prerezih pa so vidni odtisi hrastovega, bukovega in gabrovega listja ter drobnih vejic (sl.9).

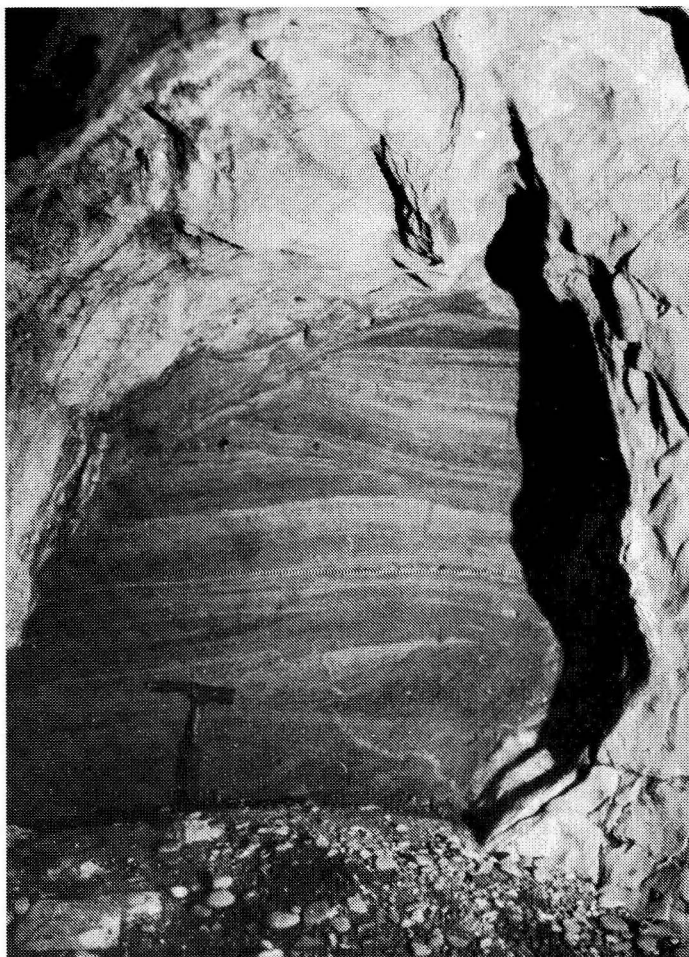


Sl.9 Odtis bukovih in gabrovih listov ohranjen v erodirani sigi pri točki 19.

Fig.9 Prints of white beech and beech leaves in eroded sinter at point 19.

Siga se je v dnu rova odložila v pogojih, ko je potok ponikal že pred jamo. Listi in vejice pa v jamo niso mogli priti s prenikajočo vodo. Očitno je torej Golobert še občasno pritekal v jamo, vendar pa nastale sige ni erodiral. To pa je možno le, če v jamo ni nosil prod.

V jami so ohranjeni na nekaj mestih tudi stari sedimenti, ki so ponekod do stropa zatr-pali jamo. V vhodnem delu jame, nad strugo potoka še pred prvim breznom, je ohranjen star prodni zasip s prodniki iz flišnega peščenjaka in peščene flišne ilovice. Prodniki so veliki do 20 cm ter so slabo zaobljeni. Po velikosti so podobni današnjim prodom v strugi. Možno je, da je ta akumulacije zaprla spodnji vhod v jamo ter tako omogočila izločanja sige, Golobert pa je občasno še pritekal v jamo skozi enega od višjih vhodov.



Sl.10 Fossilni rov pri točki 46. Ovalni rov je zapolnjen z laminirano peščeno ilovico in peskom. V osredju recentni flišni prod in pesek.

Fig.10 Fossil gallery at survey point 46. Oval gallery is filled with laminated sandy loam and sand. In foreground there is a recent flisch gravel and sand.

Stari sedimenti so tudi v kratkih dostopnih rovih pod prvim breznom pri točkah 48 in 46 ter niže v jami pri točki 43. Sediment zapolnjuje rove ovalnega prereza ter je spran v njihovih vhodnih delih (sl.10). V profilu kaže navzkrižno slojevitost z menjavanjem plasti peščene ilovice, leč peska in flišnega proda, debelega do 2 cm. Velikost proda in peska ter tudi sama oblika rogov kažeta na drugačne pogoje oblikovanja rova ter odlaganja sedimenta.

Poleg teh sedimentov se v jami pojavljajo še občasni nanosi vejevja, ki lahko v ožinah pri Sifonu tudi začasno zaprejo jamo. Čedalje več pa je tudi odpadkov, ki jih v jamo mečejo vaščani iz Dan.

SKLEP

Ob stiku eocenskega fliša na zahodnem robu Brkinov in paleocenskih apnencev Divaško-kačiškega ravnika prideka na kras troje potokov. To so Golobert, ki ponika v 170 m globokih Mejamah, Hudournik, ki občasno še priteče do ponorov v Vrčice na koncu slepe doline ter Kačiški potok, ki danes ponika že pri Rodiku.

Potoki odmakajo majhno, komaj 2 km² veliko povodje, ki ga grade flišni peščenjaki in laporji ter imajo podobne kemijske in hidrološke lastnosti. Kljub temu pa so nastale vzdolž njihovega toka po apnencih do ponorov pomembne morfološke razlike.

Grapa Goloberta se na apnencu razširi v plitvo slepo dolino z ravnim, do 40 m širokim dnom. Dolina se po 500 m konča z 10 m višjim prelivnim robom, v njeno dno pa je vrezana kratka kanjonska dolina, na koncu katere leži v višini 400 m vhod v ponorno jamo Mejame. Nad prelivnim robom je v nadaljevanju slepe doline vrtačasto dno robne kotanje v višini okrog 430 m.

Hudournik odmaka zahodni del istega slemena kot Golobert. Nekaj časa teče po samem stiku apnenec-fliš, kjer izgubi veliko vode v kras. Le ob dežju Hudournik še teče po naplavljenem, do 200 m širokem dnu slepe doline, ki je na najnižjem delu v višini 428 m. Potok sam pa je z umetno strugo speljan v sedanje ponore v vrtači Vrčice.

Razlika med obema slepima dolinama je mogoče povezana z dejstvom, da Golobert priteče na apnenec in ponikne kot koncentriran vodni tok, medtem ko Hudournik teče dalj časa po kontaktu, njegovi pritoki pa ob normalnih pretokih ponikajo ločeno. Posledica so neizdelani kanali, neuravnovešen pretok in močno naplavljanje ob poplavih.

Kačiški potok, ki ima najmanjše povodje, dobi vodo iz plitvo vrezanih grap v pobočju Ajdovščine. Pod njim, takoj ko priteče na apnenec, potok danes tudi ponika v višini 535 m. V nadaljevanju njegovega toka se je ohranila velika dolina s plitvo suho, še do pred nekaj desetletji aktivno strugo. Suha dolina se pod Kačičami izteče v Divaško-kačiški ravnik. Suha struga zavije pod Kačičami proti vzhodu ter se v dnu suhe doline, ki prebije višje apnenčasto steme, spusti v dolino Hudournika. Do Hudournika je tekla voda še v prejšnjem stoletju, do Kačič pa do pred nekaj desetletji.

Morfologija robne kotanje in vanjo poglobljenih slepih dolin kaže, da je razvoj tega površja potekal v dveh izrazitih fazah. V prvi je nastala obsežna robna globel v višinah

450–430 m. Ta je nase pritegnila tudi Kačiški potok, ki je izdelal dolino v apnencih med Rodikom, Kačičami in Paredom.

Tej fazi razvoja po višini odgovarjajo fosilni rovi s sedimentom v Mejamah, Jami na Prevali II, Divaški jami in Trhlovci ter rov Tihe jame v Škocjanskih jamah.

Poglabljanje slepih dolin v robno kotanjo in počasno izgubljanje vode Kačiškega potoka v kras lahko povežemo z mlažim speleogenetskim dogajanjem, ki se je v Škocjanskih jamah odrazilo s hitrim poglabljanjem Reke ter strmim, erozijskim rovom Mejam. Jama in kanjon pred njo sta nastali ob močni razpoklinski coni, ki poteka v smeri sever–jug. Na pretrte cone se vežejo tudi večji jamski prostori, brezna in curki prenikajoče vode. Pomemben proces, ki oblikuje jamske rove je erozija, ki se odraža tudi v razporeditvi in oblikovanosti drobnih oblik na stenah jame. Jama se konča s sifonom, ki je v višini 255 m, voda iz jame pa odteka verjetno proti Škocjanskim jamam.

V hitrem erozijskem procesu poglabljanja jame in kanjona pred njo je prihajalo do občasnih motenj. V slepi dolini Goloberta so se ohranili sedimenti, ki so zatrpali slepo dolino do višine 430 m. Takšne sprememb so lahko nastale zaradi pleistocenskih sprememb klime (A. Melik, 1955), nekatere pa verjetno zaradi lokalnih vzrokov, ki so povzročili mašenje ponorov.

V Mejamah se je v dnu rova odložila siga, ki je verjetno holocenska. Odtisi hrastovih, gabrovih in bukovih listov v njej kažejo, da je Golobert v jamo sicer tekkel, ni pa erodiral, torej je prod naplavljal pred jamo.

Hitre spremembe se kažejo tudi pri Kačiškem potoku, ki je v tem stoletju še tekkel do Ledenice, danes pa ponika v aluvialnih grezih tik ob kontaktu z apnencem.

LITERATURA

- Ellis, B., 1976: Surveying caves. The science of speleology, T.D.Ford, C.H.D. Cullingford, 1-10, London.
- Gams, I., 1962: Slepe doline v Sloveniji. Geografski zbornik 7, 265-304, Ljubljana.
- Gams, I., 1967: Tiha jama v sistemu Škocjanskih jam. Proteus, 30/6 (1967/68), 146-150, Ljubljana.
- Gams, I., 1974: Kras. Slovenska matica, 1-357, Ljubljana.
- Gams, I., 1983: Škocjanski kras kot vzorec kontaktnega krasa. Medn.simp. "Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam", (Lipica 1982), 22-26, Sežana.
- Gospodarič, R., 1983: O starosti sige v Škocjanskih jamah. Medn.simp. "Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam (Lipica 1982) 20-21, Sežana.
- Gospodarič, R., 1984: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam. Acta Carsologica 12 (1983), 27-47, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce. Acta Carsologica 13 (1984), 5-34, Ljubljana.
- Habič, P., 1972: Divaški kras in Škocjanske jame. Ekскурzije 6. kong. spel. Jug. (Sežana, Lipica), 26-33, Postojna.
- Habič, P., 1984: Reliefne enote in strukturnice matičnega Krasa. Acta Carsologica 12 (1983), 5-26, Ljubljana.

- Habič, P., 1986: Reliefna razčlenjenost in morfoogenetske enote klasičnega Dinarskega krasa. *Acta Carsologica* 14/15, (1985-86), 39-58, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1986: Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje. *Acta Carsologica*, 14/15, (1985-86), 109-115, Ljubljana.
- Melik, A., 1955: Kraška polja Slovenije v pleistocenu. *Dela SAZU, Inštitut za geografijo*, 7, III, 1-162, Ljubljana
- Mühlhofer, F., 1909: Die Erforschung des Wasserschlingers von Dane bei St. Kanzian im Küstenlande. *Höhlenforscherverein Hades*, 6, 214-217, Triest
- Radinja, D., 1967: Vremenska dolina in Divaški kras. *Problematika kraške morfogeneze. Geografski zbornik SAZU*, 10, 157-256, Ljubljana
- Šušteršič, F., 1982: Nekaj misli o oblikovanju kraškega površja. *Geografski vestnik*, 54, 19-28, Ljubljana
- Pleničar, M., Polšak, A., Šikič, D., 1973: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tolmač za list Trst. *Zv.geol.zav. Beograd*

CONTACT KARST NEAR KAČIČE AND PONOR CAVE MEJAME

Summary

On the contact of Eocene flysch on the western border of Brkini and Paleocene limestones of Divaško-kačiški ravniki three brooks appear on the karst surface. They are Golobert, sinking in 170 m deep ponor cave Mejame, Hudournik, flowing temporary up to the ponors in Vrčice at the end of the blind valley and Kačiški potok, now sinking near Rodik already.

The water basin of these brooks is small, covering 2 km² only, built by flysch sandstones and marls, having similar chemical and hydrological properties. But along their flow on limestones important morphological differences have occurred.

The gulch of Golobert is widened on the limestones into shallow blind valley with flat, up to 40 m wide bottom. The valley ends after 500 m with 10 m higher overflow border; in its bottom short, canyon-like valley is cut, at its end on 400 m a.s.l. the entrance to ponor cave Mejame is situated. Above the overflow border lies in the continuation of the blind valley the bottom of margin depression with dolines, about 430 m a.s. l.

Hudournik drains the western part of the same ridge as Golobert. For some distance it flows on the contact limestone-flysch itself where a lot of water disappears into karst. During the rain only Hudournik flows on alluvium up to 200 m wide bottom of blind valley which has the lowest part 428 m a.s.l. The brook is regulated by the artificial riverbed flowing into actual ponors in the Vrčice doline.

The difference between the two blind valleys is maybe connected to the fact that Golobert comes to the limestone and sinks as concentrated water body, while Hudournik flows along the contact for longer time and its tributaries during the normal discharges sink separately. The result are shabby channels, non-balanced discharge and strong sedimentation during the floods.

Kačiški potok, having the smallest water basin, is fed by shallow gulches on Ajdovščina slope. In the foot, as soon as it reaches the limestones, it sinks on 535 m a.s.l. In the continuation of its flow a big valley with shallow dry, till some decennies ago active riverbed, is preserved. Under Kačiče the dry valley passes into Divaško-kačiški ravniki. Dry riverbed turns under Kačiče eastwards and in the bottom of dry valley, cutting higher limestone ridge, passes into Hudournik valley. In past century the water had flown up to Hudournik, and up to Kačiče some decennies ago even.

The morphology of margin depression and deepened blind valleys shows that the development has taken course in two distinctive phases. In the first one vast margin depression, 450–430 m a.s.l. was formed. It had attracted Kačiški potok and it had formed the valley in limestone among Rodik, Kačiče and Pared.

The fossil passages and their sediments in Mejame, Jama na Prevali II, Divaška jama and Trhlo-vica and the passage of Tiha jama in Škocjanske jame correspond to this development phase.

The deepening of blind valleys into margin depression and slow disappearing of Kačiški potok water into karst could be connected by younger speleogenetical events which are reflected in Škocjan-ske jame by quick deepening of Reka and by steep erosional channel in Mejame. The cave and the canyon before the entrance developed along strong fissured zone in north–south direction. Bigger cave rooms, potholes and percolating water trickles are related to crushed zones. Important process by shaping the cave passages is erosion which is reflected in distribution and shape of thin forms on the cave's walls. The cave ends by siphon, 255 m high and the water is probably directed towards Škocjanske jame.

In quick process of erosional cave and canyon deepening temporal disturbances have occurred. In Golobert dry valley the sediments, filling up the blind valley up to 430 m a.s.l. are preserved. Such changes could result in Pleistocene climatical changes (A.Melik, 1955) and some of them have local reasons caused by choked ponors.

On the bottom of the passage in Mejame flowstone of probably Holocene age is deposited. The traces of oak and birch leaves in it show that Golobert had namely flown into the cave but did not erode, it means that it had deposited gravel in front of the cave.

Quick changes were observed at Kačiški potok too; it had flown in this century up to Ledenica and today it sinks in alluvial sinkholes on the contact with limestone.

SKALNE OBLIKE V KRIŽNI JAMI IN NJIHOV SPELEOGENETSKI POMEN

ROCKY FEATURES IN KRIŽNA JAMA AND THEIR
MEANING FOR SPELEOGENESIS

TADEJ SLABE

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Križna jama)

Slabe, Tadej: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen

Križna jama je nastala zaradi pretoka vode z višjih dolomitnih Blok na nižje Cerknško polje. Različne hidrološke razmere so delno posledica tektonskega dvigovanja bloka, v katerem je jama, in zastajanja tektonske prelomne cone, na kateri so razvrščena kraška polja. Skalne oblike v jamskih rovih je oblikoval vodni tok, ko je bila jama še zalita, in so ohranjene na stenah danes suhih rovov, druge pa vrezuje današnji vodni tok. Posebne skalne oblike so nastale in še nastajajo ob stiku z drobnnozrnatimi naplavinami in zaradi razpadanja in podiranja jamskega skalnega oboda, skalna površina je razjedena tudi s kondenzno korozijo.

Ključne besede: speleomorfologija, speleogeneza, skalne oblike, Križna jama, Slovenija

Abstract

UDK 551.442(497.12 Križna jama)

Slabe, Tadej: Rocky Features in Križna jama and their Meaning for Speleogenesis

Križna jama had been formed by the water flowing from higher dolomitic plateau of Bloke to lower lying polje of Cerknica. Different hydrologic conditions are partly controlled by tectonic uplifting of the block where the cave lies and partly by stagnation of tectonic fault zone where karst poljes are distributed. Rocky features in the cave passages were formed by water flow in the time when the cave was flooded and they are preserved on the walls of now dry channels and some features are still developing by the actual water flow. Special rocky features had originated and are still developing on the contact with fine-grained sediments, because of weathering and collapse of cave rocky rim, the rocky surface is indented by condense corrosion too.

Key words: speleomorphology, speleogenesis, rocky features, Križna jama, Slovenia

Naslov - Address

mag. Tadej Slabe, dipl. geogr., raziskovalni sodelavec
ZRC SAZU Inštitut za raziskovanje krasa
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

Procesi, ki oblikujejo kraško podzemlje, ustvarjajo tudi sledi v skalnem obodu rogov. Nastajajo značilne oblike, ki so razpoznavni znaki teh procesov. Skalni obod votlin je torej sestavljen iz raznovrstnih oblik, ki so lahko posledica več obdobij jamskega razvoja. S proučevanjem teh oblik, ki so v pestro oblikovanih stenah Križne jame, sem skušal razložiti njihov nastanek in si s tem pomagati pri spoznavanju jamskega razvoja.

POLOŽAJ IN OBLIKA KRIŽNE JAME

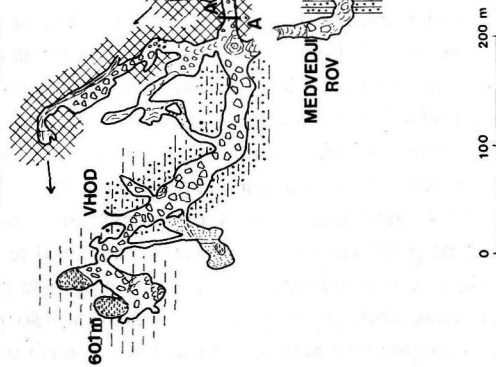
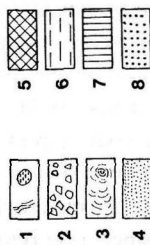
Osem kilometrov dostopnih rogov pretežno vodne jame (sl.1) leži v bloku sinklinalno usločenih skladov jurskega apnenca, ki ga na severovzhodu omejuje blok manj propustnega triasnega dolomita Bloške planote in na jugovzhodu blok Loškega polja. Na jugozahodu meji na tektonsko pogreznjen blok Cerkniškega polja, ki je prekrito s fluvialnimi naplavinami in predstavlja območni vodni jez. Voda z višjega dolomitnega zaledja odteka skozi apnenec vzporedno s sinklinalno osjo proti severozahodu k izviru Šteberščice na robu Cerkniškega polja, kar je z barvanjem potrdil D. Novak (1969). R. Gospodarič (1974, 358, 360) pa je s proučevanjem zgradbe jame in fluvialnih jamskih sedimentov ugotavljal izvor vode in položaj jame. Jamski potok teče na nadmorski višini okoli 610 metrov, pri Kittlovih breznicah, ki so najnižja točka vodnega toka v jami, pa na 600 metrih nadmorske višine. Po 1700 metrih od jame do izvira Šteberščice se vodni tok spusti še za 40 metrov. Križna jama je torej oblikovana v bloku ob tektonsko živi prelomni coni, v kateri so razvrščena notranjska kraška polja, skozi jama odteka voda z gorskih Blok k dolinskemu Cerkniškemu polju.

Jama je nastala v svetlosivih jurskih apnencih liasno-doggerske epohe z vmesnimi do meter debelimi svetlosivimi gnezdi dolomita. Skladi so nagnjeni 20° proti jugu (JJV), le v Glavnem rovu med 2. jezerom in Otokom, so ob številnih prelomih skladi položni ali nagnjeni proti zahodu in severu. Prelomi sekajo sklade večinoma od severa proti jugu, v vzhodnem delu jame pa od severovzhoda proti jugozahodu (R. Gospodarič, 1974, 333).

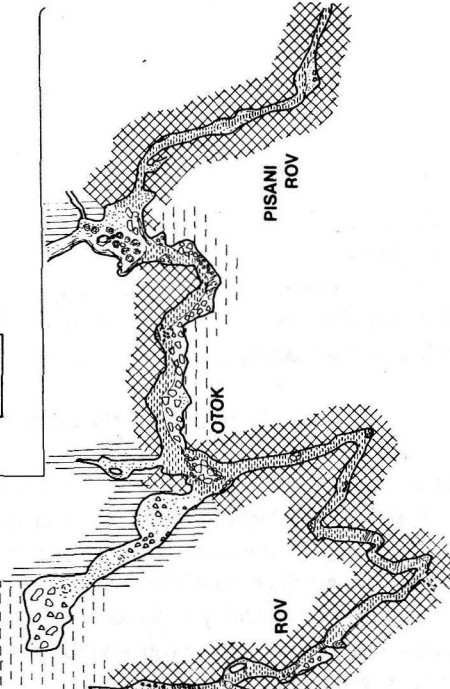
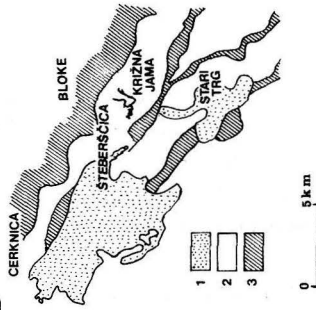
Položaj apnenca med dolomitom, ki omogoča odtok vode le proti zahodu, in prelomljenost kamnine, sta vplivala na smer in povezanost rogov. Dotočna Blata in Pisani rov potekata od severa proti jugu vzporedno s prelomnimi smermi, rovi med Križno goro in vhodnim delom jame pa potekajo v smeri vzhod – zahod. Od te smeri rovi odstopajo ob prečnih prelomih. Voda si je v osrednjem delu jame najprej utrla pot ob lezikah in prelomih in nastal je meandrast tloris, nato pa je ponekod poiskala krajšo pot in presekala meandre, kar lahko povežemo s spremembo hidroloških razmer, v katerih se je jama oblikovala. Meandri so ostali kot današnji suhi rovi. Takšen je Medvedji rov. Na prelome so vezane predvsem podorne dvorane in široki rovi. Ponekod pa so prelomi razgaljeni tudi v vodnih rovih, kjer je voda

A KRIŽNA JAMA - W DEL

A



B



prebila in odstranila zdrobljeno kamnino porušeni prelomnih con. Gosta pretrtost kamnine se odraža tudi na površju, kjer je precej udornic, ki ponekod vplivajo na potek mlajših jamskih rovov. Sedanji rovi se velikim udornicam, kot so Grdi dol med Kittlovimi brezni in Cerarjevo dvorano, ali udornica ob vhodu v jamo, pa Bravcova dolina, okoli katere je nastal meander na začetku Pisanega rova, praviloma izogibajo.

Rove v Križni jami lahko razdelimo na vodne in suhe. Okoli 80% je vodnih rovov, ki jih še danes oblikuje podzemni tok. Vodni rovi imajo izrazito korozijsko – erozijsko obliko s fasetami in kotlicami, ki jih je vrezal vodni tok. Iz apnenčastih sten vodnih rovov izstopajo dolomitna gnezda. Prod in konglomerat lahko zasledimo v vodnih rovih po vsej jami, v občasno poplavljenih rovih pa stene in tla prekrivajo mlajše peščeno ilovnate naplavine in siga, pa tudi podorno skalovje.

Ločimo dva tipa suhih rovov. Eni so delno ali pretežno zasuti z ilovnato – peščenim sedimentom, ponekod tudi s prodom in konglomeratom. Nad sedimentom in pod njim so v stenah ohranjene oblike, ki so nastale zaradi vodnega toka. Tak je Medvedji rov. Drug tip rovov je izraziteje preoblikovan zaradi razpadanja skalnega oboda, tako da sledov vodnega toka skoraj ni več. Takšni rovi so Kalvarija, Kristalna in Križna gora ter Dežmanov rov, kjer se skozi podorno skalovje še prebija vodni tok. Podorni in Suhi rov prekinja isti podor.

Siga se je odlagala na naplavine v obliki kop, v podornih dvoranih pa tudi v številnih stalagmitih in stalaktitih. Ostanke sedimenta v rovih nam pričajo, da je bila jama nekoč bolj zapolnjena. Sklepamo, da so se v jamskem razvoju menjavala obdobja vodnega vrezovanja, poplavljanja in nasipanja sedimentov s suhimi obdobji, ko se je odlagala siga.

SLEDI VODNEGA TOKA

Skalne oblike, ki jih je v stene vrezal vodni tok omenjajo že R. Badiura (1909, 31) in I. Michler (1934, 99), ki jih imenujeta vdolbinice podobne školjkam ter W. Bohinec (1963). Pri razlagi razvoja jame, si je s skalnimi oblikami pomagal tudi R. Gospodarič (1974).

Sl.1A - Razporeditev značilnih skalnih oblik v zahodnem delu Križne jame

- 1-vodni tok in jezera
- 2-podorne skale
- 3-siga
- 4-drobnozrnati sediment
- 5-fasete, erozijske in stropne kotlice
- 6-odlomi
- 7-podsedimentne oblike
- 8-s kondenzno korozijo razjedena skalna površina

Sl.1B - Položaj Križne jame

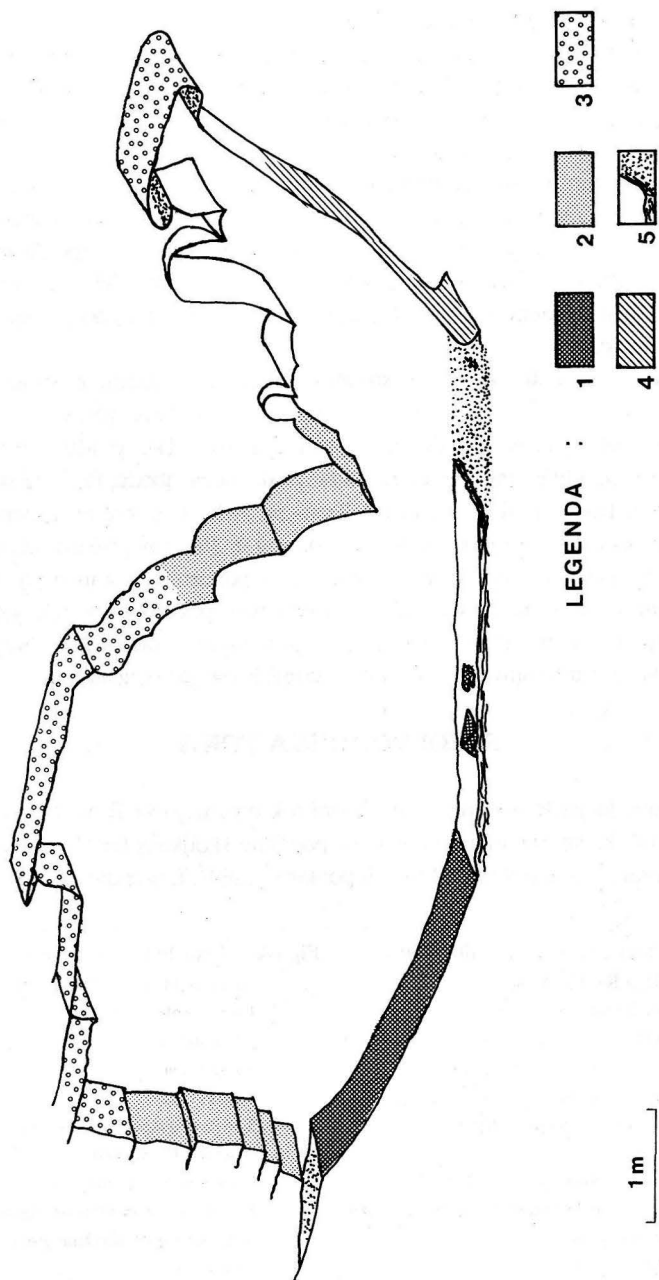
- 1-krško polje
- 2-apnenec
- 3-dolomit

Fig.1A - Distribution of rock features in the west part of Križna jama

- 1-water course and lakes
- 2-boulder rocks
- 3-siga formation
- 4-flowstone
- 5-current marks, erosion and solution cups
- 6-break off the wall
- 7-undersediment channels
- 8-rocky surfaces attacked by condense corrosion

Fig.1B - Position of Križna jama

- 1-karst polje
- 2-limestone
- 3-dolomite



V določenem redu ponavljajočo razporeditev oblik v skalnem obodu, ki so nastale zaradi vodnega toka, bom skušal razložiti in grafično predstaviti na odseku vodnega rova med Ponorom, v katerega odteka potok manjhnega pretoka, in Dežmanovim rovom, kamor se prelivajo visoke vode (sl.2). Potok je skozi sklade apnenca, ki vpadajo z naklonom 20° in smerjo 160° , in vmesna gnezda dolomita izdolbel prostoren rov, ki je preprečen s pokončnimi, prečnimi razpokami. V vodnem rovu, ki poteka od vzhoda proti zahodu, se menjavajo ob pretiranih delih oboda odseki razpadajoče kamnine, strop je tu nekoliko povišan, in pa odseki z vodnim tokom zaobljenega oboda. Oblike, ki so nastale z vodnim tokom, pa so ohranjene tudi v danes suhih ali deloma občasno poplavljenih rovih.

Fasete so opazne po vsem obodu rova. Najlepše in najbolj izrazite so v stenah in v obrobni, nekoliko višjih delih dna korita. Na obrobni delu stropa, ki je oblikovan s skladovnimi odlomi, pa se fasete, ki so resda spričo visokega rova manj dostopne, komajda še razberejo.

Voda je ponekod ob stenskih razpokah razširila rove in izdolbla večje in manjše niše (sl.2). V neravnih stenah so fasete različnih velikosti. V zatišjih pred vodnim tokom, v nišah, so fasete praviloma večje in imajo do 0,1 metra premera, na izpostavljenem robu niše pa majhne s premerom tudi samo 10 milimetrov. Večje fasete so globoke do 30 milimetrov, torej so glede na premer plitke. Robovi med fasetami so manj izraziti in zaobljeni. Ob pokončnih razpokah so fasete podolgovate (sl.3). Površina faset je razjedena v majhne polkroglaste vdolbinice. Zglajenost površine je v večjih fasetah manjša kot v manjših fasetah, tudi zaradi počasnejšega vodnega toka in tako ima voda, v kateri že prevladuje korozijski proces nad erozijskim, manjšo moč dolbljenja.

Različna velikost faset je posledica dejstva, da vodni tok vse dele sten ne obliža z enako močjo. V zatišjih nastanejo lokalni vrtinci. V spodnjih delih sten, ki so najbolj izpostavljene vodnemu toku, in na robu dna rova so majhne fasete, ki imajo premer 10 – 30 milimetrov in so do 20 milimetrov globoke (sl.4). Nastale so v drobno razpokani kamnini. Fasete so različnih oblik, od podolgovatih ovalnih, skorajda okroglih ali oglatih, pa tudi nepravilnih, ko se manjša faseta zajeda v večjo. Robovi faset so izraziti in ostri. Velikost in razporeditev faset je pogojena z drobno razpokanostjo kamnine. Ob tanjših razpokah je dno faset pogosto vezano na razpoko. Ob nekoliko izrazitejših, pravokotno na vodni tok usmerjenih razpokah, so fasete, katerih dno je prav tako vezano na razpoko, združene v večjo žlebasto vdolbino z nepravilnimi robovi. Smer oblivanja sten je prav zaradi sestave in drobne razpokanosti kamnine težje določljiva. Le na nekaterih odsekih ostreje zarezanih manjših faset, so robovi na pritočnem delu bolj strmi, na nasprotni strani pa se položneje izklinijo. Pri večjih fasetah je določitev smeri vodnega toka še težja.

Sl.2 Prečni prerez (A-A') vodnega rova

- 1-majhne fasete
- 2-večje fasete
- 3-s kondenzno korozijo razjedena skalna površina
- 4-podsedimentni žlebiči
- 5-siga in ilovica

Fig.2 Cross-section (A-A') of water channel

- 1 - small current markings
- 2 - bigger current markings
- 3 - rocky surface attacked by condense corrosion
- 4 - undersediment grooves
- 5 - flowstone and loam

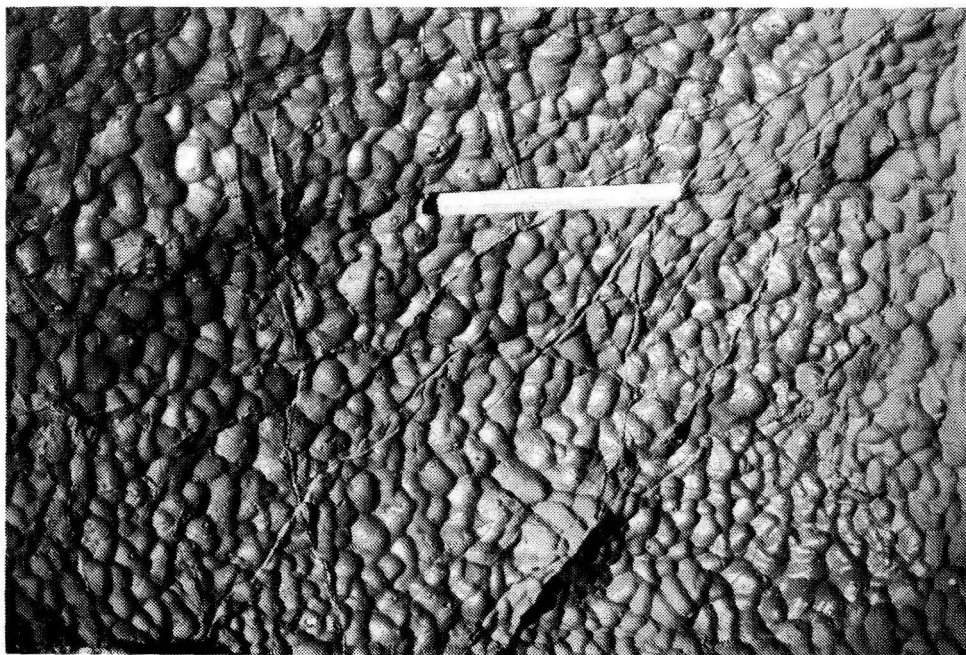


Sl.3 Fasete v steni 1,5 metra nad dnom korita v vodnem rovu (smer vodnega toka je smer sence)

Fig.3 Current markings in the wall about 1.5 m above the river bed in the water channel (the direction of water flow is the direction of shadow)

Sklepamo lahko, da je oblika, razporeditev ter povezanost v mrežo in tudi velikost posameznih faset pogojena predvsem s sestavo in razpokanostjo kamnine, povprečna velikost faset pa je posledica hitrosti vodnega toka, ki obliva kamnino.

Površina majhnih faset na robu dna rova je zglajena. Površina med zaobljenimi kalcitnimi žilicami, ki le malo izstopajo iz površine faset, je ovalno konkavna. Znotraj ovalnih poglobitev so ponekod tudi majhne vdolbinice s položnimi robovi, kar kaže na nehomogenost,



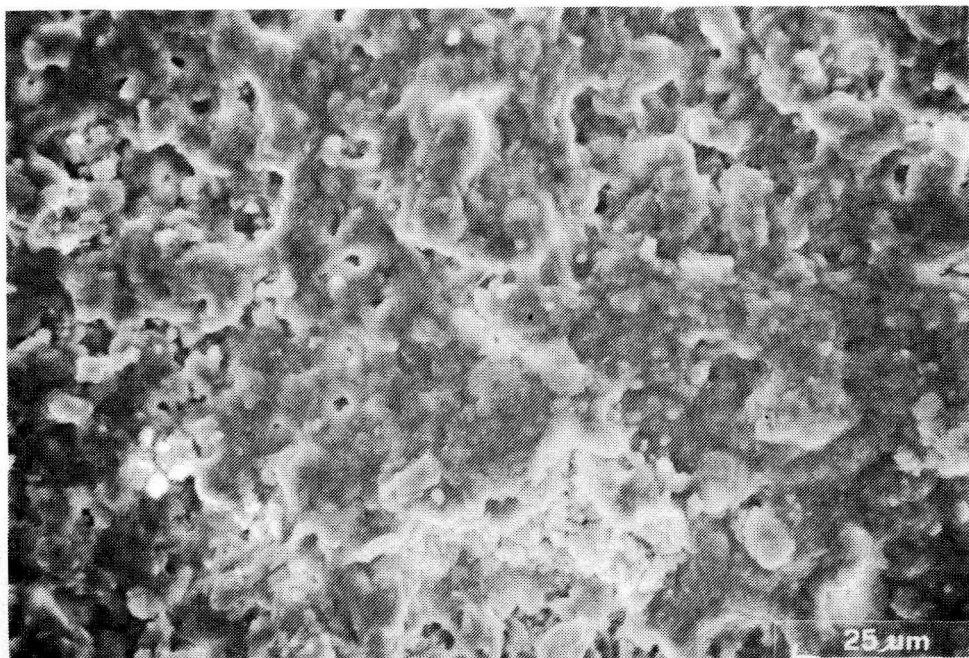
Sl.4 Fasete v dnu korita vodnega rova (smer vodnega toka je smer sence; merilo je 0,15 metra)

Fig.4 Current markings in the floor of water channel (the direction of water flow is direction of shadow; scale is 0.15 m)

torej na različno topljivost kamnine. Površina kamnine se ponavadi na strani kalcitne žile, ki je obrnjena iz dna proti robovom fasete, postopoma izklinja proti vrhu, na drugi pa je strma, odsekana ob plasti kalcita. To je posledica smeri vodnega toka v faseti. Površina faset nad vodnim tokom majhnega pretoka je prekrita s tanko plastjo drobnozrnatega sedimenta, in po tem sklepamo, da fasete oblikuje tudi erozija. Tudi pod velikimi povečavami vrstičnega mikroskopa lahko vidimo, da je površina biomikritnega apnenca resda še luknjičasta, vendar zglajena (sl.5). Iz nje ne štrlijo posamezni slabo pritrjeni kristali, kot to lahko opazujemo na površini prepereli s kondenzno korozijo.

Sklepam, da je pri oblikovanju faset s hitrim vodnim tokom delež erozije večji kot pri počasnejšem toku, večji pa je tudi delež odnesenih, še neraztopljenih kristalov.

Dolomit je bolj obstojen proti eroziji in koroziji jamske reke kot apnenec, zato iz sten izstopajo posamezna gnezda, vendar v njem z vodnim tokom ne nastanejo fasete. To nam lepo dokazuje stenski detajl, kjer je voda ob razpokah v apnencu izdolbila kanale z majhnimi fasetami v obodu, ki se zgoraj, ob stiku z dolomitom, vodoravno odrezano zaključijo. Kamnina, iz katere izstopajo štrleči deli z gladko površino, je razčlenjena v vdolbinice in žlebiče nepravilnih oblik, ki imajo 10 milimetrov premera. Iz zbruska vzorca kamnine, ki sem ga vzel v vodnem rovu, kjer poteka prečni prerez, in iz oblik v njem, lahko sklepamo, da voda hitreje



Sl.5 Póvršina majhne fasete - vrstični mikroskop

Fig.5 The surface of small current marking - microscope picture

raztaplja kalcitni del kamnine, ki jo prepređa v tankih žilicah, redkeje pa so v zbrusku večje površine kalcita. Kalcitno vezivo je bolj topno kot oglati dolomitni kristali, povečuje pa kompaktnost kamnine, saj je sparitni kalcit počasneje topen kot okoliška pretežno mikritna kamnina. Tudi v sigi, ki jo je odložila s površja prenikajoča voda, so se oblikovale fasete.

Razpoklinske kotlice so nastale ob tanjših razpokah, ki prečijo stene rova, in v stenah večjih niš. Kotlice imajo premer od nekaj deset milimetrov pa tudi preko metra. Večje so glede na premer večinoma plitke. Nastale so 1–2 metra nad dnem struge. Oblikovale so jih torej že nekoliko višje vode. Nižje, v pasu najmanjših faset, so kotlice le v zatišju niš.

3 metre nad tlemi rova med prvima jezeroma je sredi apnenčastega sklada ohranjena vzdolžna **stenska zajedá**, s fasetirano površino. Zajeda je posledica nekdanjega nivoja vodnega toka. Je bil rov sprva oblikovan višje in nato z vrezovanjem poglobljen ali pa je bil že oblikovan rov zasut s prodom, po katerem je tekla voda?

Mchurjaste kotlice so v stropu rova in robnih niš. So skledastih oblik in se proti dokaj ravnemu dnu le malo zožujejo (sl.2, 6). Osi kotlic so večinoma navpične. Značaj stropnih razpok in lezik, ob katerih so se kotlice s premerom do enega metra, nekatere tudi večje, oblikovale, je pogojil njihovo razmestitev in velikost. Kjer se je voda prežrla skozi razpokane sklade do lezik, so kotlice razširjene.

Nastanek kotlic si lahko razlagamo s pospešeno korozijo vrtinčastega vodnega toka pod



Sl.6 Kotlica v stropu vodnega rova (merilo je 0,15 metra)

Fig.6 Solution cup in the roof of water channel (scale 0.15 m)

stropom. Verjetno pa k oblikovanju kotlic pomembno prispeva tudi zniževanje pritiska ob premikanju zračnih mehurjev pod stropom.

Skalna površina stropa in stropnih mehurjastih kotlic je preperela. Ob dotiku se drobne razjede, ki so posledica kondenzne korozije, razmažejo. Kotlic današnje visoke vode ne dosežejo več. Kaže, da so bile kotlice preoblikovane tudi zaradi kondenzne korozije pod stropom ujetega zraka, ko je voda poplavlila rov, kot nastanek stropnih mehurjastih kotlic razlagajo B. Mucke, R. Völker, S. Wadewitz (1983). Je pa res, da je danes večina zgornjega dela skalnega oboda, ki ga vode ne dosežejo več, razjedena s kondenzno korozijo.

Manjše **erozijske kotlice** so v skalnih blokih na dnu rova in v spodnjih položnih robovih sten, ki jih najnižje sigotvorne vode ne dosežejo. Imajo 100 milimetrov ali več premera in polkrožne prečne prereze. Večje kotlice imajo spiralasto dno (sl.7), ki je, če je voda prežrla sklad, v katerem se je kotlica oblikovala, tudi odprto. Kotlice so v območju najmanjših faset, torej najhitrejšega vodnega toka. Voda prenaša sorazmeroma malo razdrobljene kamnine, zato je tudi erozija manj izrazita in kotlice so majhne.

Iz dna korita štrlijo posamezne skalne **čeri**, s fasetirano površino. Spodaj so širše in se navzgor zožujejo. Robovi čeri so ostri. Čeri so ostanki trdnjših delov kamnine, ki jih je oblikoval hiter vodni tok.

V stenah rova so med razpokami, ki jih je poglobil vodni tok, nastali skalni **noži**, ki imajo



Sl.7 Erozijska kotlica v koritu vodnega rova (merilo je 0,15 metra)

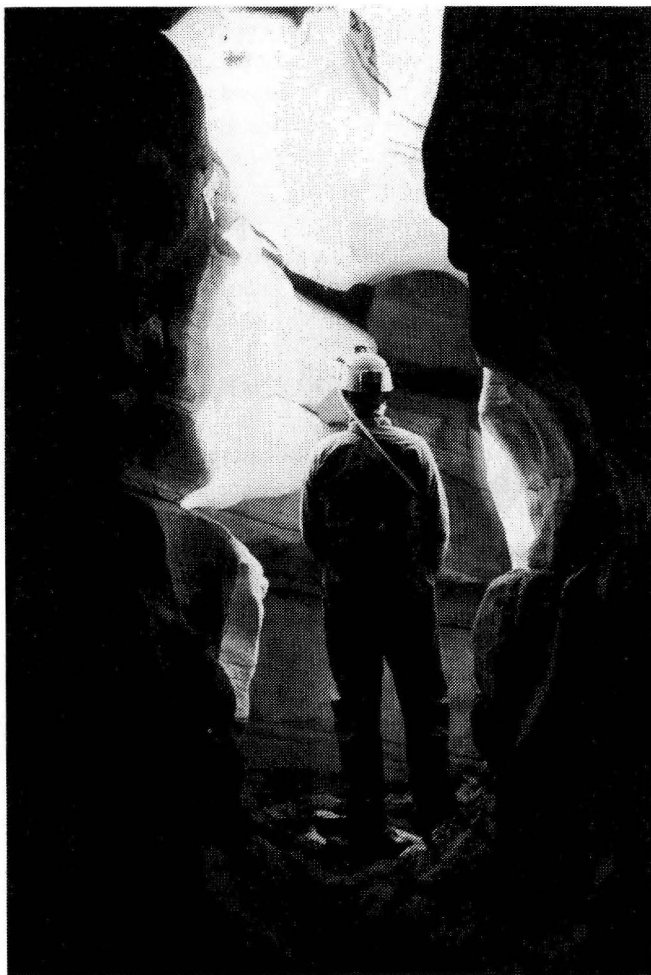
Fig.7 Erosion solution cup in the riverbed of the water channel (scale 0.15 m)

večinoma fasetirano površino. Tudi njihovi robovi so ostri, velikost pa zavisi od razpokanosti in nehomogenosti kamnine. Tako so lahko dolgi tudi meter ali več.

V samem dnu korita, kjer tečejo najnižje vode, je siga. Najnižje vode so sigotvorne. Ko tečejo po neravnem dnu se iz vode sprošča CO_2 in zato se izloča siga. To nam potrdi tudi analiza nizkih novembrskih voda. V vzorcu vode sem nameril 247 miligramov Ca CO_3 na liter. Ko sem vodi dodal še dodatni CaCO_3 , se ni raztopil. Koncentracija se je znižala, saj se je Ca iz nasičene vode izločil na zrnati dodatek.

Sledi vodnega toka so ohranjene tudi v obodu danes suhih, le ob visokih vodah deloma poplavljenih rovih, katerih dna so debelo prekrita z drobnozrnatim sedimentom. V obodu rova, ki se odpira nad prvim jezerom proti jugu, so oblike, ki pričajo o svojem nastanku v zalitem rovu zaradi počasnega vodnega toka. V stenah so nastale **velike fasete** s premerom 1 meter, v stropu pa so zlasti ob razpokah **mehurjaste kotlice** s premerom od nekaj desetink pa do 1 ali več metrov. Tudi v Medvedjem rovu so v stropu, kjer ni zasigan ali pa preoblikovan z odlomi, mehurjaste kotlice, v začetnem delu rova pa so večje fasete, ki imajo 50 milimetrov premera.

Podobno je oblikovan skalni obod v stenskih nišah (sl.8), ki so ohranjene tudi v vhodnem delu jame, ta pa je večinoma podorno preoblikovan. V obodu so velike fasete in stropne kotlice, ki dokazujejo prvotno zaliti rov.



Sl.8 Fosilna niša v vhodnem delu jame z velikimi fasetami v obodu

Fig.8 Fossil niche in the entrance part of the cave with big current markings in the rim

Rovi, po katerih se še danes pretaka voda, kot tudi tisti, ki so delno poplavljeni le še ob visokih vodah, so nastajali v zaliti coni. O tem pričajo stropne kotlice v vseh rovih, ki niso podorno preoblikovani, in velike fasete v stenah nekaterih danes suhih rogov. Današnje, tudi najvišje vode, pa rogov ne zalijejo več v celoti, kar nam dokazuje s kondenzno korozijo preoblikovano površje stropa in zgornjih delov sten v vodnih rovih in pa višina poplavne ilovice na položnejših odsekih sten. Le nekatere nižje odseke rogov še v celoti zalijejo visoke vode, ki se po pričevanju očividcev pojavijo le vsakih nekaj let. V takih rovih so v stropu fasete. Visoke vode se pretakajo počasneje in višje v stenah so vrezane večje fasete. Mlažji rovi, ki sekajo

stare meandre, so premajhni, da bi sproti prevajali visoke vode, pa dovolj veliki za nekoliko manjši vodni pretok, z gladino do 2 metra nad dnom korita, kjer so fasete najmanjše. Ob najnižjih vodah se izloča iz vodnega toka siga, saj so že skalni bloki ali posamezne čeri pol metra nad dnom korita fasetirani. Siga sama pa ni fasetirana, torej je odlaganje sige hitreje od erozijske moči vode. Siga se odlaga le na brzicah ob podornih blokkih, ne pa v jezerskih kotanjah.

Oblikovanost skalnega oboda rova je odvisna od skladovitosti kamnine, pretrte z razpokami in prelomi, ter od načina in hitrosti pretakanja vode. Sledimo lahko oblikovanju rovov v zaliti coni in mlajšemu preoblikovanju današnjega vodnega rova z odprtim vodnim tokom. Oblike, ki so nastale s hitrejšim vodnim tokom, so prekrile starejše, kar priča o sorazmeroma hitrem preoblikovanju površja skalnih obodov rovov.

OBLIKE OB STIKU Z DROBNOZRNATIM SEDIMENTOM

Te skalne oblike lahko razdelimo na mlajše, ki nastajajo pod drobnazrnatim sedimentom današnjih visokih in na starejše pod drobnazrnato sedimentno zapolnitvijo v danes večinoma suhih rovih.

Oblike, ki nastajajo pod drobnazrnatimi naplavinami poplavnih voda, sestavljajo podsedimentni žlebiči in podsedimentne vdolbinice. V Jamarskem priročniku (1964, 47) so žlebiči predstavljeni kot oblike, ki naj bi jih oblikovala, skozi razpoke v stropu prenikajoča voda.

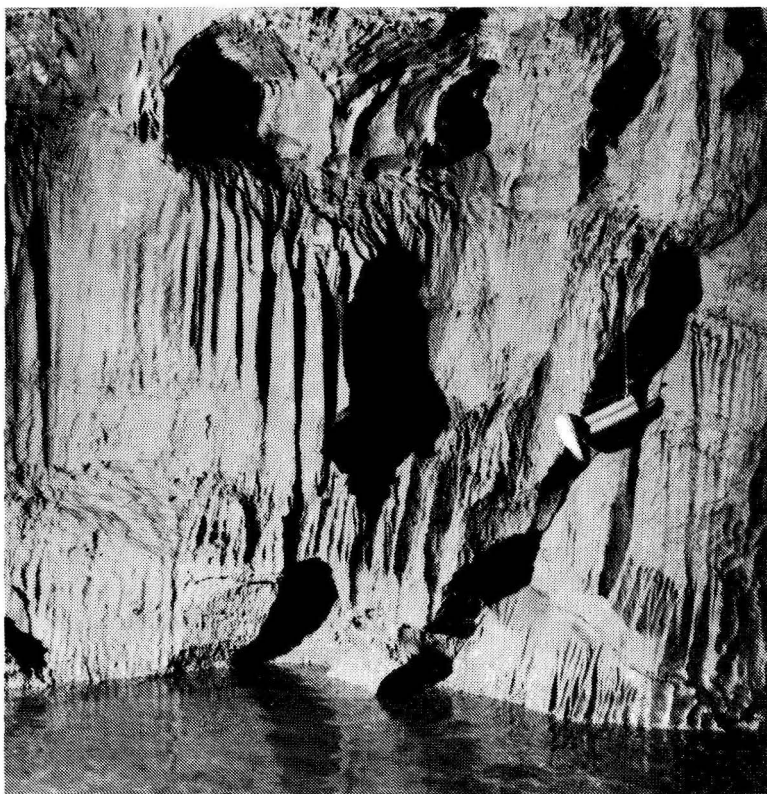
Podsedimentni žlebiči (sl.9) so globoki od 10–100 milimetrov in prav toliko tudi široki. Imajo značilni V prečni prerez z zaobljenim dnom. Žlebiče, ki so razporejeni eden poleg drugega, ločijo ostri robovi, marsikje pogojeni z manj topnimi kalcitnimi žilicami. Stene večjih žlebičev so pogosto razčlenjene v manjše, ki se začenjajo kar na razu med žlebičema. Manjši žlebiči se na položnih odsekih v večjih zajedah, ki so nastale v manj odporni in razpokani kamnini, lijakasto stekajo in na strmejšem odseku združijo v večji žlebič. Površina žlebičev je sprana ali pa prekrita z ilovico.

Podsedimentne žlebiče opazujemo v spodnjih delih navpičnih ali malo nagnjenih sten. Nad njimi je praviloma na položnejših odsekih odložena ilovica.

Že sama oblika žlebičev, njihov položaj v steni rova in ilovnate obloge nad njimi, ponujajo razlago o njihovem nastanku. Visoke in počasnejše poplavne vode odlagajo drobnazrnati sediment, iz katerega se odceja po stenah voda in vrezuje žlebiče. Ti so po večini nižje od ilovnatnega sedimenta ali pa pod njim in imajo z manjšimi žlebiči razčlenjene stene. Na razporeditev in obliko žlebičev vpliva enakomerno izcejanje vode iz ilovice in polzenje po nehomogeni kamnini. Ostri robovi med žlebiči so posledica enakomerne ploskovne korozije, štrleči deli kamnine se enakomerno ostrijo in tanjšajo, ne pa zaobljajo.

Podsedimentne vdolbinice (jamice) so do 50 milimetrov široke in prav toliko globoke. Pokončne vdolbinice imajo ravne stene in so nad dnom nekoliko razširjene. Nekatere imajo prežrte stene, tako da so ostale le še posamezne štrline kot ostanki oboda vdolbinic. Vdolbinice imajo sprano površino ali pa so deloma zapolnjene z ilovico.

Nastale so v vodoravnih ali le malo nagnjenih odsekih skalnega oboda. So pa ti odseki sten nad dnom korita, kar pomeni, da ostane voda le še v ilovici, ko se gladina toka zniža.



Sl.9 Podsedimentni žlebiči v vodnem rovu (foto. P. Habič)

Fig.9 Undersediment grooves in water channel (Photo by P.Habič)

Voda ustvari pod sedimentom najprej majhne luknjice v bolj topljivih delih kamnine. Nato nastanejo vdolbinice bolj ali manj pravilnega polkrožnega prečnega prereza, kar je odvisno od sestave in razpokanosti kamnine. Pod sedimentom v dnu se vdolbinice poglobljajo, zato so globlje od premera odprtine. Nad dnom se stene začno širiti in se pri gosto razporejenih vdolbinicah tudi združujejo.

Izrazitejše z ilovico zapolnjene razpoke in fasete v vodoravnih ali položnih odsekih, v katere se ob vsakokratnem poplavljanju odlaga vlažna ilovica, se širijo in poglobljajo.

Podsedimentni žlebiči in vdolbinice nastajajo v zatišnih legah ob vodnem vodnem toku, zlasti so pogoste te oblike v spodnjih, položnih ali pokončnih delih sten širših odsekov rova, kjer se odlaga največ ilovice. Po ostankih ilovice in razporeditvi oblik sklepam, da današnje visoke vode ne zalijejo rova v celoti, temveč segajo 2 metra pod strop. V nivoju podsedimentnih oblik pa so v vodnem toku izpostavljenih stenah vrezane večje fasete. Za nastanek takšnih podsedimentnih oblik je torej odločilna oblikovanost rova in naklon stene, na katero se odlaga ilovica.

Stropne kanale in anastomoze ter stenske žlebove lahko opazujemo v suhih rovih, ki so le občasno poplavljeni in katerih dna so debelo prekrita z drobnnozrnatim sedimentom. V rovu, ki se odcepi od vodnega rova pri prvem jezeru proti jugu, je na stropu 0,1 meter širok, meandrirač nad sedimentni kanal, v skalnih previsih, 1–2 metra nad današnjim ilovnatim pokrovom tal pa so manjše mreže nadsedimentnih anastomoz. Rov je bil v celoti zapolnjen z drobnnozrnatim sedimentom, z odtekanjem poplavnih voda pa so se ob stiku z ilovico vrezale značilne podsedimentne oblike. Podsedimentne oblike so vrezane prek že opisanih oblik, ki so nastale z vodnim tokom v freatični coni in so torej mlažje od njih.

Posamezni podsedimentni kanali in žlebovi so tudi v obodu vhodnega dela Medvedjega rova. Kanali so 1–2 metra nad današnjim ilovnatim prekritjem tal ali pa v isti višini in jih lahko opazujemo v prečnem prerezu. V stenskem previsu je vrezan 0,1 metra širok kanal in v enaki obliki je odstranjena ilovica tudi pod njim. Skalna površina kanalov je sveže sprana. Sklepam, da ta del rova občasno poplavijo visoke vode in ko gladina upade, voda ob stenah ob stiku z ilovico odteka iz rova. S seboj odnaša tudi ilovico. Je pa pretok vode v žlebovih in kanalih počasen, zato je tudi njih površina, čeprav na pogled sprana, pod povečavo vrstičnega mikroskopa podobna prepereli skalni površini med kanali. Skalna površina je le 2 milimetra preperela. Iz nje štrlijo mikritni kristali, nekateri imajo tudi zelo šibka pritrdišča.

V notranjosti Medvedjega rova, ki ga visoke vode ne dosežejo, so se pod ilovico v skalnem obodu ohranile oblike, ki so nastale, ko se je po rovu še pretakala voda. Jugozahodno nad Tiberijevim jezerom, kjer je ilovica ohranjena še najvišje, je ob steni odkopano 1,5 metra ilovice. Ob stiku z ilovico je stena prekrita s tanko plastjo sige. Voda, ki je prenikala skozi strop in zatekala ob steni in ilovici, je odlagala sigo. V ilovici so nastale tudi številne lutke.

Je agresivna voda, ki prenaša sediment, ali pa sediment daje agresivnost vodi, ki se iz njega izceja?.

Organski ogljik v drobnnozrnatem sedimentu

V drobnnozrnatem sedimentu, ob katerem so v steno vrezani žlebiči, vdolbinice in stropni kanali ter stenski žlebovi, smo določili količino organskega ogljika (tabela 1). Za določevanje sta znana dva postopka. Sam sem izbral mokri postopek oksidacije s kalijevim dikromatom (J. Pochon, 1954). Suhi postopek, s katerim se organski ogljik določa z žarčenjem vzorca, je manj primeren, saj pri visokih temperaturah karbonati razpadajo, drobnnozrnat sediment, katerega vzorce sem zbral v Križni jami, pa je pretežno karbonatne sestave.

Vzorci 1, 2 in 3 so z obrežij prvega in drugega jezera. V 2. vzorcu, ki je posnet drobnnozrnat sediment s površja nasipa, je organskega ogljika najmanj: 0,18%, le 50–100 milimetrov pod površjem pa delež naraste na 0,69%. Nekoliko pod povprečjem je delež organskega ogljika tudi v sedimentu (4) s stenske police južno od prvega jezera, ki jo dosežejo le redke najvišje vode. Pod sedimentom so žlebiči. Iz položne stenske niše (sl.2), pod katero so tudi žlebiči, je 6. vzorec. 5. vzorec, v katerem je organskega ogljika največ, je iz sedimenta na stenski polici rova, ki se pri prvem jezeru odcepi proti jugu. Pod sedimentom so stropni kanali in stenski žlebovi.

Tabela 1: Analiza drobnnozrnatega sedimenta

vzorci	Munsell soil color chart	organski C	PH
1	2,5Y 3/2 * 18YR 6/3	8,69%	8,21
2	18YR 4/2 18YR 6/3	8,18%	8,41
3	18YR 3/2 18YR 6/4	8,77%	8,19
4	18YR 5/8 18YR 6/6	8,56%	8,28
5	18YR 5/6 18YR 6/6	1%	8,28
6	18YR 3/2 18YR 6/4	8,87%	8,22

* Zgornja označba barve vzorca je za naravno vlažen, spodnja pa za suh sediment.

Organski ogljik, katerega delež v organski snovi je okoli 58% (F. Scheffer, P. Schachtschabel, 1975, 50), je torej del vseh analiziranih vzorcev. Za predstavbo količine organske snovi v sedimentu naj navedem nekaj primerjav. Iz analiz drobnnozrnatih sedimentov, ki so jih opravili delavci IZRK (A. Kranjc) za potrebe arheoloških raziskav, razberemo naslednje količine organskega ogljika: najmanj ga je v starih suhih sedimentih (Divje babe, Kačna jama), v povprečju manj kot 0,5%, največ pa je organskega ogljika v svežem sedimentu, ki ga nanašajo podzemni tokovi, kjer največje količine dosežejo tudi 2,5% (Labodnica). F. Scheffer in P. Schachtschabel (1975, 51) navajata naslednje podatke: v prsteh z malo humusa je organskega ogljika manj kot 1%, v prsteh z največjimi deleži humusa pa ga je 8–15%, povprečje v orni plasti prsti pa naj bi bilo 1,5–4%.

Kolikšen je torej delež organskih snovi v analiziranem drobnnozrnatem sedimentu in kakšen je njegov vpliv na oblikovanje skalnega površja v jami? Iz primerjav lahko sodimo, da delež organskih snovi ni zanemarljiv, nasprotno, domnevamo lahko, da je prisoten proces mineralizacije, torej tvorbe CO₂ iz ogljika, čeprav pH odraža prevladujoč delež karbonatov v sedimentu. Vpliv organskih snovi je najbolj izrazit v sveže prinesenem sedimentu, ko se raztaplja karbonatni del sedimenta in kamnina ob stiku z njim, nato pa njihov vpliv pojenja.

S KONDENZNO KOROZIJO RAZJEDENE STENE

V Medvedjem rovu je kondenzna korozija ustvarila 3 tipe skalnega površja. V začetku rova, tik za odcepom iz vodnega rova, je skala prepletena s kalcitnimi žilicami, ki do 5 mili-



Sl.10 S kondenzno korozijo razjedena stena vhodnega dela Medvedjega rova

Fig.10 By condense corrosion attacked wall in the entrance part of Medvedji rov

metrovo štrlijo iz površine apnenca (sl.10). V drobne razpoke odloženi kalcit je slabše topljiv od okoliške biomikritne kamnine.

V naslednjih metrih v notranjost rova so skladi zahodne stene razčlenjeni v tanke plasti, ki jih ločijo 10 milimetrov globoke zajede. To je posledica sedimentacije apnenca in ob stikih posameznih plasti je kamnina hitreje topljiva.

Na sredini rova, kjer je nivo drobnozrnatega sedimenta ohranjen najvišje, je skala razjedena z ozkimi zajedami v mrežo žlebov, ki pa med seboj niso povezani (sl.11). Skalno površje med razjedami je razčlenjeno v vdolbinice z nekaj milimetri premera. Te razjede omenja že F. Hochstetter (1881, 13).

Kondenzne vlage je bilo precej, zato je prišla do izraza razpokanost in plastovitost kamnine. Ni pa znakov hitrega zračnega toka. Manj topne so bile kalcitne žilice, hitreje pa se je kamnina topila ob razpokah in ob stiku plasti. Površina oboda, kjer je bilo vlage manj in zato ni sprana, je tanko preperela (sl.12). Iz drobno razčlenjene biomikritne kamnine štrlijo na tankih pritrđiščih, še neraztopljeni večji kristali. Ohranjena so tudi počasneje topljiva sparitna zrna.

Kot kaže medvedji obrus (sl.11), to je del iz stene štrleče zglajene kamnine, ki je bila sprva razjedena s kondenzno korozijo, današnja kondenzna vlaga nima več korozijske spo-



Sl.11 Medvedji obrus v srednjem delu Medvedjega rova, kamnina je okoli razjedena s kondenzno korozijo (merilo je 0,15 metra)

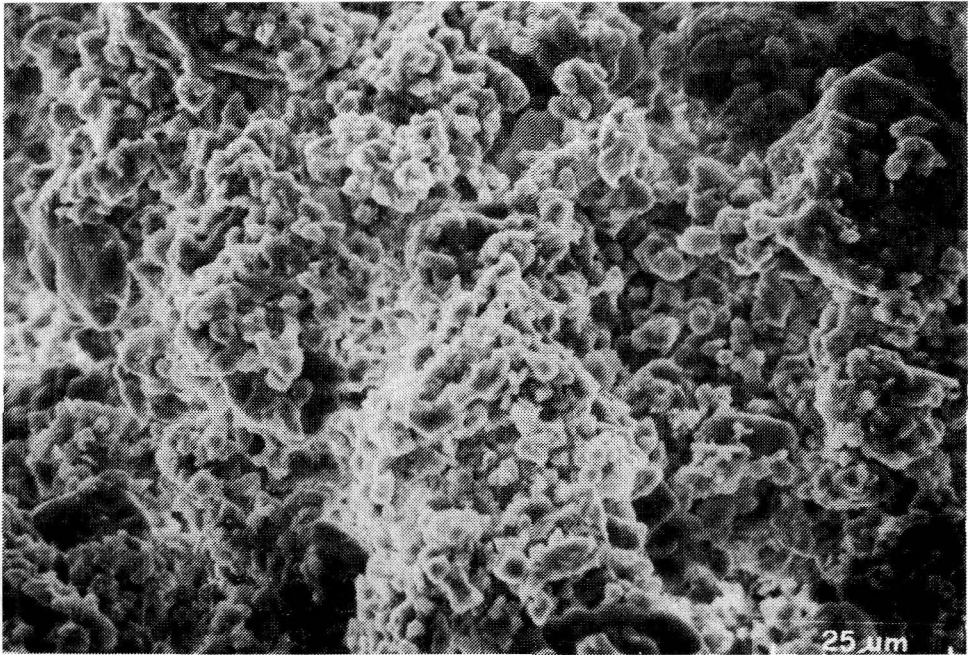
Fig.11 Bear polishes in the central part of Medvedji rov; the rock is cut by condense corrosion (scale 0.15 m)

sobnosti. Je mogoče kamnina zaščiten z maščobami? Na vprašanje je potrebno še odgovoriti. Je pa bil rov v času poplavljanja, torej do zadnjega sunka glaciala (W 2/3) (R. Gospodarič, 1974), še z obeh strani odprt k Vodnemu rovu in so bile klimatske razmere v njem prav gotovo drugačne.

Kondenzacija je danes izdatnejša le še v vodnem rovu, kjer so zgornji, višji deli rova drobno razjedeni. Konec oktobra se je nad tlemi rova v notranjost jame pretakal hladen zrak s površja skozi glavni vhod in zgornji del oboda je bil vlažen. Hladen zrak verjetno spodriva in ohlaja toplejši jamski zrak, iz katerega zato kondenzira vlaga.

POMEN SKALNIH OBLIK PRI RAZPOZNAVANJU JAMSKEGA RAZVOJA

O jamskem razvoju je na podlagi fluvialnih sedimentov sklepal R. Gospodarič (1974, 58), ki je v Prvem podornem rovu našel naplavine iz časa, ko se je jamska reka pretakala na višini 635 metrov. Tudi v Bločiškem zatrepu sta R. Gospodarič in P. Habič (1979, 30) razpoznala sledi več obdobj poglobljanja polja, ki jih predstavljajo terase vse od 720–750 nadmor-



Sl.12 S kondenzno korozijo razjedena skalna površina v stenski niši v vhodnem delu jame - vrstični mikroskop

Fig.12 By condense corrosion cut rocky surface in the wall niche in the entrance part of the cave - microscope picture

ske višine v zgornjem delu Bloške Police, pa postopno do najnižjega zatrepa nad današnjim izvirom Šteberšice v višini 565–570 metrov. Kaže torej, da se je voda z dolomitnega zaledja pretakala tudi pred nastankom današnje jame preko in skozi sklade istega apnenčastega bloka.

O oblikovanju jame s počasnim pretokom vode v zaliti coni pričajo velike fasete in kotlice v stropu danes večinoma suhih rogov. Rovi so torej nastajali v času freatičnih razmer, kasneje se je znižala gladina vodnega toka. Jama je začela nastajati v isti ravnini ali celo nižje od Cerkniškega polja, danes pa je vodno korito v jami 50 metrov nad poljem, kar je verjetno posledica tektonskega dviganja Blok ali grezanja Cerkniškega polja na živem prelomnem območju. O poglobljanju jame pričajo tudi deloma oblikovani spodnji rovi, v katerih voda zastaja zaradi zapor v gosto pretrtih skladih apenca, ki se na površju kažejo v številnih udornicah.

Sledi hitrejšega pretakanja vode kot posledica odprtega vodnega toka so stenske zajede v nekaterih rovih. Nastale so po znižanju gladine vodnega toka. Povezane so tudi s prenašanjem in odlaganjem proda po jami, kar je značilnost pestrih pleistocenskih hidroloških razmer. Vodni tok pa je skoraj ves mlajši pleistocen vztrajal na okoli 610 metrih nadmorske višine (R. Gospodarič, P. Habič, 1979, 59). Fasete tega ne kažejo, saj nastajajo sorazmerno hitro in

ohranile so se le kot sledi najmlajšega hitrega vodnega toka. Rovi so bili tudi v tem času večkrat poplavljeni v celoti in iz takšnih obdobj so tudi mehurjaste kotlice v stropu višjih delov rova, ki ga današnje vode ne dosega več. Sočasno je ob prelomih skalni obod tudi razpadal in se podiral, voda pa je odnašala podorno kamnino. Vmes so bila tudi sušnejša obdobja, na kar kaže stara siga v vodnem koritu. Z obdobjem prehoda iz freatičnih v epifreatične razmere so verjetno povezane tudi spremembe v poteku jamskih rogov. Če je prvotno meandriranje toka skozi pretrto kamnino značilnost zalitega kraškega podzemlja, si je ta z večjo močjo dolbljenja v epifreatični coni poiskal najkrajšo pot in presekale meandre. Sledila so poplavna obdobja z zastajanjem voda in odlaganjem drobnozrnatega sedimenta. R. Gospodarič (1974, 363) je naplavine uvrstil v srednji in starejši würm. Najdene kosti jamskega medveda namreč ne morejo biti mlajše od zadnjega würmskega stadiala, saj je takrat jamski medved v naših krajih že izumrl. Drobnozrnati sediment pa je naplavljen tudi prek kosti jamskega medveda. O spremenjenih klimatskih razmerah v jami lahko sklepamo po medvedjih obrusih sprva kondenzno korodirane skale v Medvedjem rovu, ki so ostali gladki in jih kondenzna korozija kasneje ni več razjedla. Tudi poplave v teh delih jame niso več segle do stropa, zato pa je

Tabela 2: Skalne oblike v Križni jami

proces		hidrološka		coňa
		FREATIČNA	EPIFREATIČNA	VADOZNA
K O R O Z I J A	Z vodnim tokom	velike fasete , kotlice , niše	mehurjaste kotlice	fasete , razpoklinske kotlice , stenske zajede , niše
	Z pod sedi - mentom		anastomoze (lokalna sifonska)	žlebovi , kanali , žlebiči , vdolbinice
	S kon - denzom			drobne razjede
	Z vodnim tokom			erozijske kotlice
RAZPADANJE IN PODIRANJE		odlomi, podori	-*-	-*-

večina skalnega oboda jame nad poplavo ali kjer ni podorno preoblikovan, drobno razjedena. Klimatske razmere v vodnih rovih ne omogočajo izdatnejše kondenzne korozije.

Od konca würma je sledilo poglabljanje rogov s hitrim vodnim tokom, ki je iz sedanjih vodnih rogov v celoti izpral drobnozrnati sediment. Izpiranje se občasno prekine le ob najvišjih vodah. Te so počasnejše in deloma zalivajo tudi sicer suhe rove. Poplavne vode se izcejaajo iz naplavljenega drobnozrnatega sedimenta in vrezujejo podsedimentne kanale in anastomoze. Ker pa voda odnaša tudi ilovico, so nekatere oblike že fosilne. Tudi današnje vode naplavlajo v zatišjih nekaj drobnozrnatega sedimenta, pod katerim nastajajo žlebiči in vdolbinice. Sedanji hitri vodni tok ob srednjih vodah v stenah in v dnu rova, in ponekod v nižjih rovih, tudi po celotnem obodu oblikuje fasete, razpoklinske in erozijske kotlice. Le še v stropu višjih vodnih rogov so ohranjene sledi starejšega oblikovanja.

Visoke vode so bolj agresivne, to dokazujejo tudi podsedimentne oblike, kar pa je verjetno posledica hitrega odtoka s površja in tudi prenašanja svežega drobnozrnatega sedimenta, v katerem smo dokazali organske snovi. Ob nizkih vodah se na dnu korita odlaga siga.

SEZNAM LITERATURE

- Badiura, R., 1909: Križna jama, Dom in svet, 30-33, Ljubljana.
- Bohinec, W., 1963: Die Križna jama (Kreuzberghöhle) bei Lož, Slowenien, 3. Congrès International de Spéléologie, 2, 211-214, Wien.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami, Acta Carsologica, 6, 327-366, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerkniškega polja, Acta Carsologica, 8, 1, 11-162, Ljubljana.
- Hochstetter, v. F., 1881: Die Kreuzberghöhle bei Laas in Krain und der Höhlenbär, Denkschriften der mat. - naturwiss. Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 43, 1-18, Wien.
- Jamarski priročnik, 1964, Ljubljana.
- Michler, I., 1934: Križna jama, Proteus 5, 97-102, Ljubljana.
- Mucke, B., R. Völker, S. Wadewitz, 1983: Cupola formation in occasionally inundated cave roofs, European regional conference on speleology, Sofia - Bulgaria 22.-28. 9., 1980, 133-137, Sofia.
- Pochon, J., 1954: Manual technique d'analyse microbiologique du sol, Masson et C^{ie}, 89-91.
- Scheffer, F., P. Schachtschabel, 1975: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

ROCKY FEATURES IN KRIŽNA JAMA AND THEIR MEANING FOR SPELEOGENESIS

Summary

Studying the rocky features on the walls of Križna jama I've tried to explain their origin and thus contribute to knowledge of cave development. Križna jama developed in the block of limestone along tectonically active fault zone where the karst poljes of Notranjska are distributed. The waters from dolomitic plateau Bloke are flowing through the cave towards the Cerknica lake which is covered by fluvial alluvium.

The cave was formed by slow water flow in the flooded zone which is evidenced by big current markings and solution cups in the roof of actual mostly dry passages. It means that the passages are water conduits from the time when the cave was a part of phreatic hydrologic system and now the water table is changed. We've stated that polje of Cerknica had controlled the cave development all the time as a local water barrier and we infer that its altitude relation towards the limestone block, where the cave lies has changed. At the beginning the cave was at the same level or even lower than the actual polje and now the river bed in the cave is 50 m above the polje level which could be explained by the cave situation in tectonically active fault area. Partly transformed lower channels evidence the deepening of the cave, they are flooded by stagnant water because of crushed limestone beds which is seen on the surface in the form of numerous collapse dolines.

The traces of quick water flow, the open water flow already, are wall cuttings in some channels resulted by water flow level change. They could be connected by transport and deposition of gravel in the cave which is the heritage of changing Pleistocene hydrological conditions. The whole Younger Pleistocene the water flow remained on about 610 m a.s.l. (R.Gospodarič, P.Habič, 1979, 59). The current markings do not reflect these changes as they develop relatively quickly and just the traces of the youngest water flow are preserved. In that time the channels were frequently flooded and from such periods are bubble like solution cups in the roof of higher lying channel parts which are no more reached by the actual water flow. At the same time the rocky rim was weathered along the faults and water has taken away the breakdown material. Inbetween dried periods existed evidenced by old flow-stone in riverbed. The change in cave channels orientation, through which the water had flown is contributed to the period of transition of the cave from phreatic to vadose zone. If the meandering through the crushed rocks presents the property of flooded karst underground formation in the vadose zone the water had found in the shortest way and with bigger strength had cut through the meanders. The periods of floods and throughflow stagnation have followed and fine-grained sediments were deposited in the channels. R. Gospodarič (1974, 363) has placed the sedimentation in the time of middle and older Würm. The found cave bear bones could not namely be younger than the last Würm stadial as in this time the cave bear was extinct in our places already. The fine-grained sediment was deposited by the water over the bones of cave bear. About different climatic conditions in the cave, in Medvedji rov at least, we could infer according to bear polishes which had remained polished and condense corrosion did not attack them. These parts of the cave were no more flooded completely. But the most of rocky rim which is no more reached by the water or was not transformed by breakdown lately, is thinly cut, being in the channels where the climatic conditions are controlled by the water the result of actual condense corrosion which is not abundant namely.

From the end of Würm the deepening of channels with quick runoff removed off the water channels the fine-grained sediment and this process is temporary interrupted by high waters. They flow more slowly and partly they flood otherwise dry channels. Flood waters in these channels flow off along the contact with fine-grained sediments and cut undersediment channels and anastomoses. As the clay flows off together with water the upper features are fossil already. The actual high waters too depose in leeward places smaller amounts of fine-grained sediment under which solution flutes and grooves are developing. Quick water flow, medium waters in particular, has transformed the walls and the bottom of the channels, somewhere, where the passages are lower the entire rim even, by current markings and in crushed zones and riverbed rim by solution cups. In water channels, except in higher lying parts, there are no traces of older transformation left.

High waters are more aggressive which is evidenced by undersediment forms and probably result in quick runoff from the surface and transportation of fresh fine-grained sediment in which the organic substances were proved. The water of the lowest level deposits flowstone on the bottom of the flow-bed.

VPLIV KISLIH PADAVIN NA PROCESE V POSTOJNSKI JAMI

**THE INFLUENCE OF ACID PRECIPITATIONS TO
PROCESSES IN POSTOJNSKA JAMA**

JANJA KOGOVŠEK - ANDREJ KRANJC

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Postojna):551.578

Kogovšek, Janja, Kranjc, Andrej: Vpliv kislih padavin na procese v Postojnski jami

Članek podaja rezultate opazovanj kvalitete padavin v Postojni in prenikle vode v Postojnski jami. Povečana vsebnost sulfatov, nitratov in kloridov v padavinah ni vzrok korozijskega razjedanja na skalah in na že odloženi sigi v jami, ker se že na poti prenikanja skozi apnenec v večini primerov nevtralizirajo, kar pomeni povečano korozijo v samem jamskem stropu. Videti je, da je vzrok korozije na opazovanih točkah občasna nenasičenost vode s karbonati, ko priteče v jamo, kar je verjetno posledica načina prenikanja.

Ključne besede: hidrologija krasa, vertikalno prenikanje, vpliv kislih padavin, Postojnska jama, Slovenija

Abstract

UDK 551.442(497.12 Postojna):551.578

Kogovšek, Janja, Kranjc, Andrej: The influence of acid precipitations to processes in Postojnska jama

The paper explains the results of observations of the precipitations quality and percolating water in Postojnska jama. The increased content of sulphates, nitrates, chlorides in precipitations does not influence to chemical denudation of rocks and flowstone in the cave because in most cases the water is neutralized during the percolation through the limestone causing increased corrosion on the cave roof itself. It seems that the corrosion reason on the observation points lies in temporary undersaturated water with carbonates when it percolates into the cave which is probably due to percolation mode.

Key words: karst hydrology, vertical percolation, influence of acid precipitations, Postojnska jama, Slovenia

mag. Janja Kogovšek, dipl.ing.chem., razisk.svetnik
Andrej Kranjc, dr. geogr., znans.sodel.
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2 YU - 66230 Postojna

UVOD

Opazovanja z vzorčevanji, meritve in analize padavin v Postojni v letih 1985–1987, ki so zajete v poročilih raziskovalne naloge Občinske raziskovalne skupnosti Postojna "Opazovanje kislosti padavin v Postojni" za leti 1986 in 1987, so pokazale, da so padavine v Postojni dokaj "kisle", posebno tiste, ki padejo od jeseni do pomladi. Padavine so občasno vsebovale tudi visoke koncentracije sulfatov, nitratov in kloridov.

Ti rezultati so naju spodbudili, da sva začela razmišljati o možnem korozijskem vplivu takih padavin v podzemeljskih jamah, kamor prenikajo. Posebno še, ker smo že pri dosedanjem delu v nekaterih jamah na sigi in skalah zabeležili tudi vidne korozijske učinke prenikajoče vode.

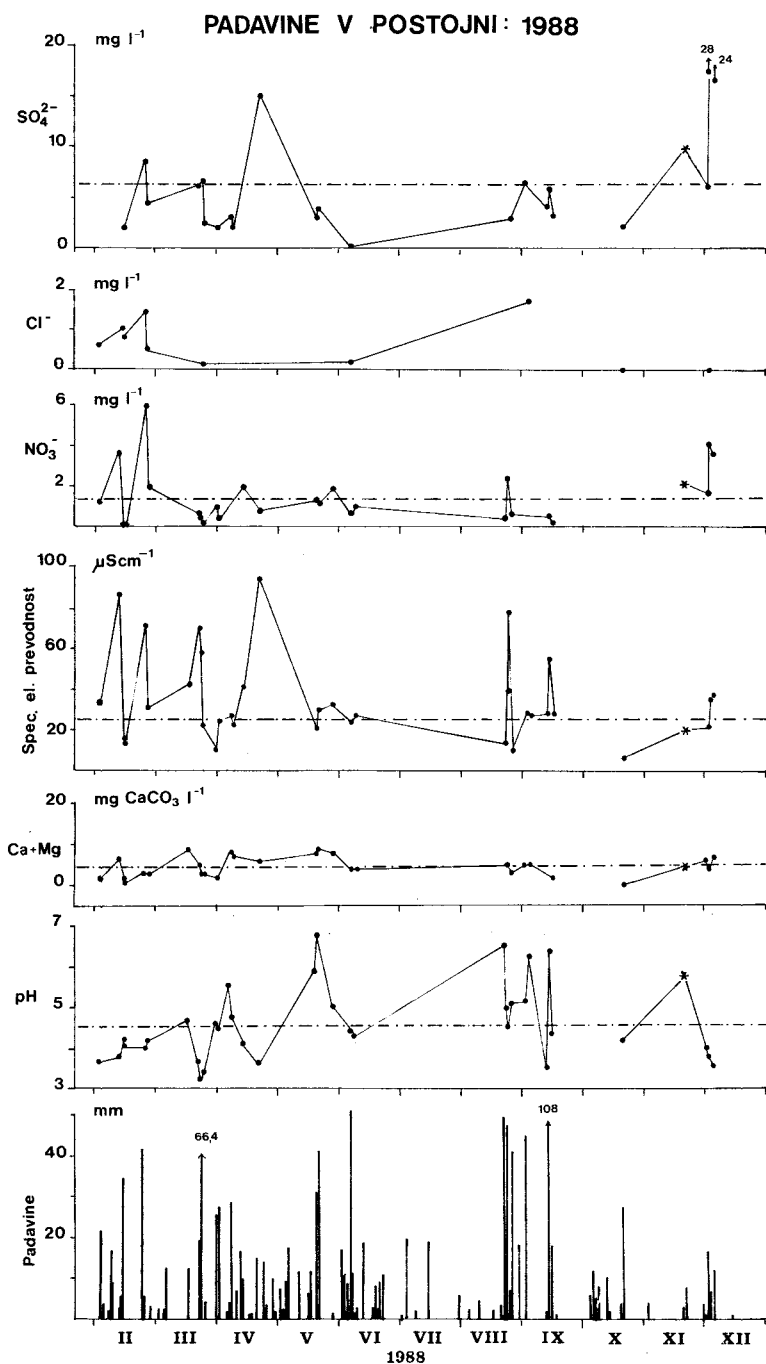
O vplivu kislega dežja na raztapljanje kapnikov v jamah je pisal že Jakucs (1987a,b). Kot primer navaja tudi sestavo prenikle vode na Veliki gori v Postojnski jami julija 1969 (oz. 1962?) in julija 1981. Podani sta le dve analizi z datumom zajema, zato sklepamo, da so navedene vrednosti enkratne meritve.

Po njegovih rezultatih se je v omenjenem času povečala kalcijeva, magnezijeva in karbonatna trdota, predvsem pa koncentracije sulfatov in sicer z 8.9 na 24.1 $\text{mgSO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$, kloridov s 5 na 14.3 $\text{mgCl}^{-} \text{ l}^{-1}$ in nitratov s 4.2 na 20.3 $\text{mgNO}_3^{-} \text{ l}^{-1}$ ob sočasnem upadu pH za eno enoto. Prav ti sulfati, kloridi in nitrati, pa naj bi bili odgovorni za korozijsko učinkovanje v jami. Želeli smo preveriti tudi te podatke.

Zato sva zasnovala nalogo "Kisle padavine in njihov vpliv na kapnike (na primeru Postojnske jame)" ter najprej podrobno pregledala Postojnsko jamo in predvsem iskala in beležila mesta z vidnimi znaki korozije. Vzporedno sva zajela tudi številne vzorce prenikle vode. Na osnovi vidnih zapažanj in rezultatov analiz vode sva se odločila za nekaj značilnih mest, kjer smo nato nadaljevali z rednimi meritvami in analizami vzorčevanih preniklih voda (Kristalni rov, Pisani rov, Lepe jame). Vzporedno smo na površju lovili padavine.

METODOLOGIJA

Padavine smo vzorčevali v Postojni na dvorišču IZRK celo leto 1988. Vzorce smo lovili v plastenke enako kot v letih 1986 in 1987 (J.Kogovšek, A.Kranjc, 1987, 1988). Določevali smo jim temperaturo, spec. električno prevodnost, pH, celokupno trdoto, vsebnost sulfatov, kloridov, nitratov ter občasno o-fosfatov. Napravili pa smo tudi nekaj laboratorijskih poskusov agresivnosti tistih vzorcev padavin, ki so vsebovali višje vsebnosti anionov. Vse navedene parametre smo določevali po že znanih metodah (Standard Methods For Examination of Water and Wastewater, 1975).



Na enak način smo vzorčevali in analizirali tudi prenikle vode v Postojnski jami in sicer od februarja 1988 do januarja 1989. Tako smo zajeli prenikle vode ob različnih razmerah, ob nizkih, srednjih in visokih pretokih. Ob samem zajemu vzorcev smo v jami merili pretok, temperaturo in pH prenikle vode.

REZULTATI IN INTERPRETACIJA

Padavine

V letu 1988 je padlo v Postojni 1484.9 mm padavin. Najbolj suhi meseci so bili oktober, november in december, ko je padlo skupaj le 129.4 mm padavin, kar je minimum za to tromesečno obdobje v okviru zadnjih dvanajstih let. To sušno obdobje pa se je potegnilo še v januar 1989, ko sploh ni bilo padavin. Vzorce prenikle vode v jami smo zajemali tudi v času teh izrednih razmer. Analizirali smo 38 vzorcev dežja in snega. Izmerjeni parametri so razvidni iz tabele 1, kot tudi iz slike 1.

Aritmetična sredina (srednja vrednost) pH 38 meritev je znašala v letu 1988 (tabela 1) 4.56. Najnižjo vrednost 3.2 smo izmerili 22. marca, ko je po skromnih padavinah v začetku meseca začelo 21.marca deževati in so se padavine nadaljevale do 23. marca. pH tega dežja je bil ves čas pod 3.7.

Od oktobra do vključno aprila 1988 je bila srednja vrednost pH padavin celo 4.16, kar v primerjavi s pH približno istega obdobja v letu 1987, ko smo izračunali povprečno vrednost 4.3, nakazuje trend upadanja pH padavin. V preostalem delu leta je znašala srednja vrednost pH 5.3, kar je nekoliko več kot v istem obdobju v letu 1987 (pH=5.2).

Specifična električna prevodnost (SEP) padavin v letu 1988 je znašala od 6 do 95 $\mu\text{S cm}^{-1}$; srednja vrednost teh meritev pa 34.7 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Nizke vrednosti SEP se navezujejo na nizke koncentracije prisotnih anionov (nitrato, kloridov, sulfatov) ter kationov (kalcij in magnezij). Le dež, ki je padal od 2. do 4.12.1988 je ob sorazmerno nizki vrednosti $\text{SEP} = 35\text{--}37 \mu\text{S cm}^{-1}$ vseboval do 28 mg $\text{SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$ in do 4 mg $\text{NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Sicer pa višje vrednosti SEP sovpadajo s povečanimi koncentracijami predvsem sulfatov in nitrato ob sočasno nizkih vrednostih pH. Najvišjo $\text{SEP}=95 \mu\text{S cm}^{-1}$ smo zabeležili aprila ob sočasno povečani vsebnosti sulfatov.

Občasno smo določevali tudi vsebnost kloridov. Zabeležili smo vrednosti do 1.7 mg $\text{Cl}^- \text{ l}^{-1}$, srednja vrednost pa znaša 0.6 mg l^{-1} . V primerjavi z letom 1987 so to nižje vrednosti. Tudi občasne meritve o-fosfatov so pokazale podobno kot leta 1987, nizke vrednosti (pod 0.11 mg $\text{PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$). Meritve nitrato so podale vrednosti do 6 mg $\text{NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, srednja vrednost pa znaša 1.4 mg l^{-1} .

Izmerjene vrednosti vsote kalcija in magnezija so se gibale do 9 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, srednja letna vrednost pa znaša 4.5 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Vzoredno smo v vzorcih določili do 28 mg $\text{SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$, letna srednja vrednost 26 meritev pa znaša 6.2 mg l^{-1} .

Količine kalcija in magnezija ter sulfatov v padavinah, ki so padle v letu 1988, so bile manjše kot leta 1987. Srednja letna vrednost vsote kalcija in magnezija je bila manjša za $2.3 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, sulfatov pa za $1.7 \text{ mgSO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$.

PRENIKLE VODE

Pisani rov

Prenikajoče vode v Pisanem rovu smo tedensko preučevali že v letih 1977–79 ter kasneje še eno leto (1981/1982). Vzorčevanja so obsegala prenasičeno preniklo vodo, ki izloča sigo, kot tudi agresivno preniklo vodo. Agresivna voda na točki 22 v Podorni dvorani in v končnem delu Pisanega rova korodira že predhodno odloženo sigo na steni ter samo steno, opazne pa so tudi do pol metra globoke korozijske luknje v podornih skalah in stalagmitih po dnu rova (Kogovšek, Habič, 1981, Kogovšek, 1983).

Te analize so pokazale opazno nižje trdote agresivne prenikle vode v primerjavi s prenasičeno preniklo vodo, ki izloča sigo. Pri curku 22 smo z meritvami trdot pri vrhu in vznožju stene, ko prenikla voda polzi po približno 2 m dolgi poti, zabeležili pri pretoku 5 ml min^{-1} raztapljanje do $13 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$.

I.Gams (1967) je razlagal agresivnost prenikle vode na tem istem mestu z rožencem v apnencu oz. z večjo prisotnostjo sulfatov. Junija 1964 je zajel vzorec te vode, kot tudi vzorec sigotvorne vode v bližini. Kem. analiza je pokazala nižjo celokupno in karbonatno trdoto ter hkrati višjo vsebnost sulfatov ($14.6 \text{ mgSO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$) v agresivni prenikli vodi.

Naše ponovne meritve agresivne prenikle vode na točki 22 od februarja 1988 do januarja 1989 (10 meritev) so pokazale, da je prenikla voda vsebovala v enem litru od 7 do 9.5 mg sulfatov, enkrat pa celo 18.5 mg l^{-1} (te vrednosti nismo upoštevali v izračunu srednje vrednosti), ob srednji vrednosti $8 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$, 1 do $3 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$, do $2.4 \text{ mg NO}_3^{-} \text{ l}^{-1}$ (srednja vrednost 0.8 mg l^{-1}) in do 0.21 mg l^{-1} o-fosfatov. Vse meritve so zbrane v tabeli 2; na sliki 2 pa so prikazana zajemna mesta prenikle vode v Pisanem rovu.

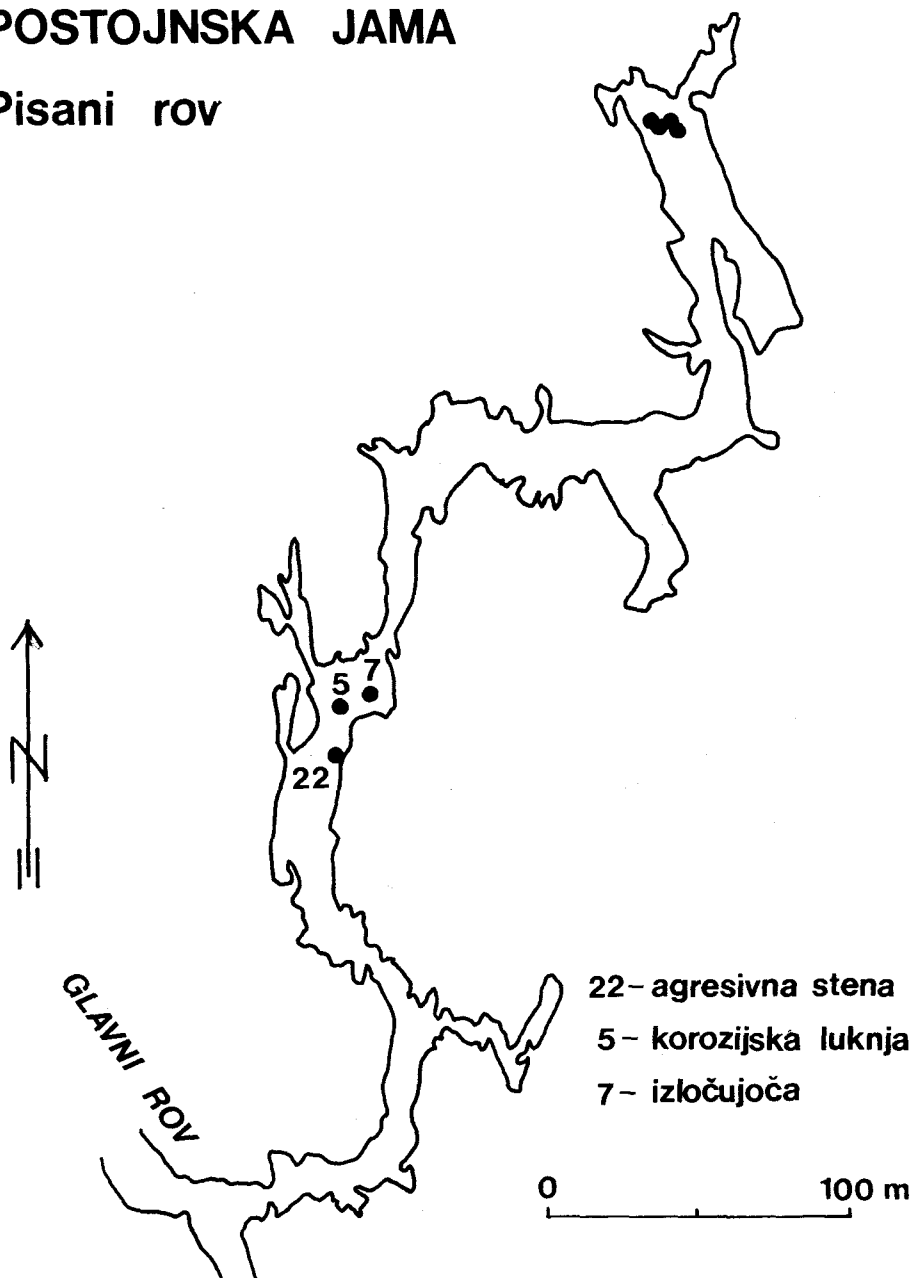
Z vzporednimi določitvami sulfatov pri prenikajoči vodi, ki izloča sigo (Dvojčka v Pisanem rovu) smo ugotovili, da le-ta vsebuje višje koncentracije sulfatov, celo preko 20 mg l^{-1} . Torej direktne vzročne povezave med korozijskim razjedanjem in povečanimi sulfati nismo ugotovili.

Koncentracije posameznih snovi (ionov) preko leta nihajo. Zato so za realno sliko stanja potrebne redne letne meritve, ki zajemajo vse možne razmere. Srednje vrednosti takih meritev pa so bolj reprezentativne kot posamezne meritve.

V letu 1988 se je izmerjena karbonatna trdota agresivne prenikle vode na točki 22 gibala med 1.9 in 2.42 mekv l^{-1} oz. 95 in $121 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ (srednja vrednost 2.15 mekv l^{-1}). Potek celokupne trdote je sorazmeren poteku karbonatne trdote, le da je celokupna trdota za približno 0.2 mekv l^{-1} oz. $10 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ višja. Tem nizkim vrednostim trdot pa odgovarjajo tudi ustrezno nizke vrednosti SEP ($203\text{--}250 \text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$).

POSTOJNSKA JAMA

Pisani rov



Sl.2 Postojnska jama - Pisani rov : položaj opazovanih curkov.

Fig.2 Postojnska jama - Pisani rov : the situation of trickles

Konec julija in v začetku avgusta 1988 smo ob nizkem pretoku zabeležili, da vsak liter prenikle vode (točka 22) na omenjeni poti raztaplja do 10 mg CaCO_3 , kar je potrdilo že zgoraj omenjene meritve avgusta 1981.

Ta agresivna prenikla voda pa se le malo razlikuje od sestave prenikle vode, ki dolbe nedaleč stran korozijske luknje, kar je lepo razvidno iz srednjih vrednosti merjenih parametrov, ki so razvidne iz tabele 3.

Le nekaj metrov stran od agresivnih kapljanj pa kaplja prenasičena prenikla voda, ki gradi lepe sigaste oblike. Vzorčevali smo tudi bližnji curek, ki po videzu le skromno izloča sigo. Meritve kloridov, nitratov in o-fosfatov te vode ne kažejo bistvenih razlik med to preniklo vodo in agresivno vodo. Srednja vrednost sulfatov izločujoče vode je za 1 mg l^{-1} nižja kot pri agresivni vodi. Srednja vrednost karbonatne in celokupne trdote pa je višja in znaša 131 oz. 140 mg CaCO_3 l^{-1} (2.62 oz. 2.8 mekv l^{-1}). Izmerjene vrednosti so podane v tabeli 4. Meritve iz Pisanega rova podaja slika 3.

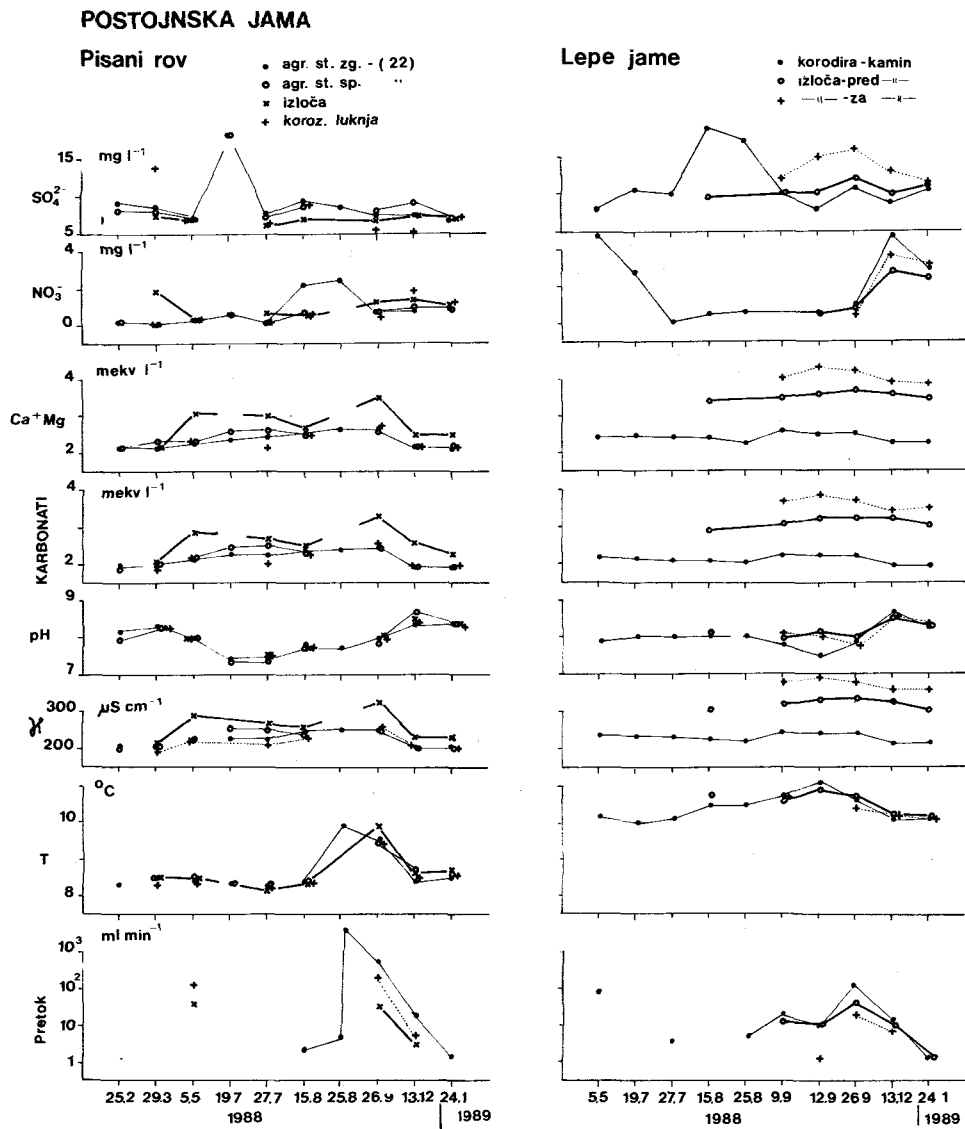
Na osnovi omenjenih opazovanj in meritev prenikle vode, ki po prenikanju skozi jamski strop v jami še vedno lahko korozijsko učinkuje, si še ne znamo povsem razložiti vzrokov te korozije. Verjetno so občasno način pretakanja vode skozi jamski strop in pogoji v njem takšni, da se ne nasiti s karbonati že pri prenikanju skozi jamski strop, ampak karbonatno kamnino oz. sigo lahko raztaplja še v jami.

Lepe jame

Prve orientacijske analize preniklih voda v Postojnski jami so pokazale nizke trdote tudi v Lepih jamah. Korozijsko učinkovanje je podobno kot v Pisanem rovu vidno na steni, kjer priteka po kaminu agresivna voda. Na tem mestu tudi ni kapniških tvorb, oz. je le več stalagmitov, ki so jih umetno postavili delavci v jami. Že v neposredni bližini pa so lepe in bogate sigaste oblike, kar smo opažali tudi že v Pisanem rovu. Torej gre le za ozko lokalno območje, kjer se pojavlja agresivna voda.

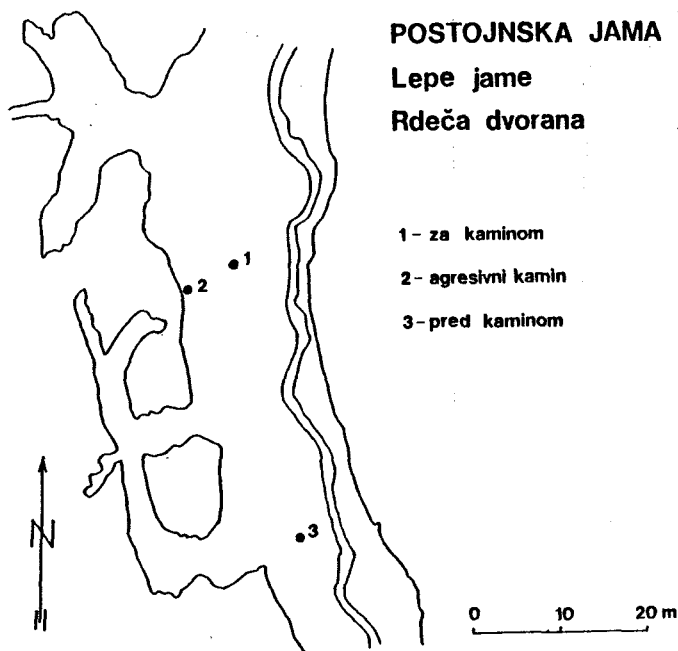
V Lepih jamah smo od maja 1988 opazovali agresivno vodo in dve bližnji kapljanji, ki odlagata sigo. Mesta vzorčevanja so razvidna iz slike 4. Agresivna voda, ki priteka po kaminu, je imela povprečno karbonatno trdoto 104 mg CaCO_3 l^{-1} oz. 2.07 mekv l^{-1} , kar je v okviru vrednosti agresivne vode v Pisanem rovu. Srednja vrednost celokupne trdote je znašala 121 mg CaCO_3 l^{-1} oz. 2.41 mekv l^{-1} , kar pa je nekoliko več kot v Pisanem rovu. Vendar pa je sočasno voda vsebovala tudi več nitratov in sulfatov (srednja vrednost nitratov je 2.0 mg NO_3 l^{-1} , sulfatov pa 11.3 mg SO_4^{2-} l^{-1}). Če napravimo bilanco prisotnih anionov in kationov, se ti dobro pokrivajo z odstopanji le nekaj stotink mekv l^{-1} . Analize voda iz Lepih jam so prikazane v na sliki 3 ter v tabelah 5 in 6.

Bližnji opazovani kapljanji, ki izločata sigo, označujejo višje vrednosti SEP in karbonatne trdote. Pnikla voda kapljanja pred kaminom je dosegala nižje, tista naprej od kamina pa višje koncentracije nitratov in sulfatov (srednje vrednosti) kot agresivna iz kamina. Enako velja tudi za karbonatno in celokupno trdoto.



Sl.3 Postojnska jama - meritve curkov v Pisani rov in Lepih jamah

Fig.3 Postojnska jama - trickles measurements in Pisani rov and Lepe jame



Sl.4 Postojnska jama - Lepe jame : položaj opazovanih curkov.

Fig.4 Postojnska jama - Lepe jame : the situation of trickles

Temperatura prenikle vode, ki je verjetno zelo blizu temperaturi zraka (daljši stik z jamskim zrakom ob pretakanju po kaminu do zajemnega mesta), je v Lepih jamah nihala med 10 in 11°C, v Pisanem rovu pa od 8.2 do 9.9°C. V Pisanem rovu je temperatura pretežno nihala od 8.2 do 8.7°C. Višje temperature prenikle vode smo zabeležili ob močno povečanih pretokih le konec avgusta in v začetku septembra, ko so padle izdatne padavine in sklepamo, da je vpliv temperature jamskega zraka tedaj minimalen.

UGOTOVITVE

Meritve in analize padavin so tudi leta 1988 pokazale, da v Postojni padajo "kisle" padavine. Srednja vrednost pH padavin nakazuje, da so v letu 1988 padale še bolj "kisle" padavine (srednja letna vrednost pH = 4.56) kot v letu 1987, vendar pa so bile koncentracije sulfatov, nitratov in kloridov nekoliko nižje.

V Postojnski jami prevladujejo kapljanja prenasičene prenikle vode, ki izločajo sigo. Na nekaj mestih v Pisanem rovu, Lepih jamah (Rdeča dvorana) in konec Čarobnega vrta pa smo opazili tudi vidne znake razjedanja sige in kamnine.

Prenikla voda na teh mestih dosega najnižje vrednosti SEP, karbonatne in celokupne

trdote, kar smo jih določili v Postojnski jami. Srednja letna vrednost karbonatne trdote se giblje med 104 in 105 $\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ oz. 2.07 in 2.1 mekv l^{-1} , celokupne trdote pa med 116 in 121 $\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ oz. 2.32 in 2.41 mekv l^{-1} . Vsebnost sulfatov, nitratov in kloridov je v teh vodah le nekoliko višja kot v padavinah.

Prenasičene prenikle vode, ki so v neposredni bližini agresivnih kapljanj, imajo višjo karbonatno trdoto, nekatere pa tudi višjo vsebnost sulfatov ob ustrezno višji celokupni trdoti. Prenasičena prenikla voda, ki gradi Dvojčka v Pisanem rovu ima opazno višjo vsebnost sulfatov kot agresivna voda. Tudi kapljanja, ki izločajo sigo na Veliki gori, po vsebnosti sulfatov ne zaostajajo za agresivno vodo v Lepih jamah. Od agresivnih voda dosega najnižjo karbonatno, hkrati pa najvišjo celokupno trdoto ter višje koncentracije nitratov in sulfatov agresivna voda iz kamina v Lepih jamah.

Iz dosedanjih meritev lahko sklenemo, da korozijski učinki prenikle vode v Pisanem rovu in Lepih jamah ne morejo biti posledica povečanih koncentracij sulfatov, nitratov in kloridov, saj so ti anioni v enaki meri prisotni tudi v prenasičeni prenikli vodi, ki izloča sigo. Izgleda, da je vzrok korozije občasna nenasičenost te vode s karbonati, ko priteče v jamo, kar je verjetno posledica načina penikanja.

Povečana vsebnost predvsem sulfatov, nitratov in kloridov v padavinah, ki se kombinira še z vplivom vegetacije in kamninske zgradbe, se sicer odraža v sestavi prenikle vode v jami, vendar pa se na svoji poti penikanja skozi apnenec tudi nevtralizira, kar pomeni povečano korozijo v samem jamskem stropu, ne pa tudi vzrok za korozijsko razjedanje v jami.

LITERATURA

- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Acta carsologica*, 38, 11-68, Ljubljana
- Jacucs, L., 1987a: Traces of Effects of Acid Rain (Sedimentation) in the Re-dissolution of Cave Dripstones. *Endins*, 13, 49-57, Mallorca
- Jacucs, L., 1987b: The Effect of Acidic Atmosphere Pollution upon Stalagmites in Carstic Cave-system. *Acta geographica*, 27, 3-38, Szeged (Hungaria)
- Kogovšek, J., Kranjc, A., 1987: Opazovanje kislosti padavin v Postojni (končno poročilo za leto 1986). 1-18. Arhiv IZRK, Postojna
- Kogovšek, J., Kranjc, A., 1988: Opazovanje kislosti padavin v Postojni (končno poročilo za leto 1987). 1-24. Arhiv IZRK, Postojna
- Kogovšek, J., Habič, P., 1981: Preučevanje vertikalnega penikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, 111-148, Ljubljana
- Kogovšek, J., 1983: Penikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame. *Acta carsologica*, 11, 59-76, Ljubljana
- Standard Methods For Examination of Water and Wastewater. 14th Edition, 1985

THE INFLUENCE OF ACID PRECIPITATIONS TO PROCESSES IN POSTOJNSKA JAMA

Summary

In 1989 the precipitations measurements and analyses have shown that in Postojna "acid" precipitations are fallen. The mean value of precipitations pH evidences that in 1988 the precipitations were still more "acid" (mean annual pH value = 4.56) than in 1987, but the sulphates, nitrates, chlorides concentrations were lower.

In Postojnska jama the trickles of supersaturated percolating water, depositing flowstone, prevail. On some places in Pisani rov, in Lepe jame (Rdeča dvorana) and at the end of Čarobni vrt we've observed visible signs of flowstone and rock chemical denudation.

On these places the values of SEC, carbonate and total hardness are the lowest from all the analysed samples in Postojnska jama. Mean annual value of carbonate hardness oscillates between 104 and 105 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, 2.07 to 2.1 respectively, the total hardness between 116 and 121 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, 2.32 to 2.41 respectively mekv l^{-1} . The sulphates, nitrates and chlorides content in these waters is slightly higher than in precipitations.

Supersaturated percolating waters situated in immediate vicinity of aggressive trickles, have higher carbonate hardness, and some of them higher sulphates content at correspondingly higher total hardness. Supersaturated percolating water forming the speleothem Dvojčka in Pisani rov contains extremely more sulphates than the aggressive water. Also the trickles, depositing flowstone on Velika gora, are according to sulphates content equal to aggressive water in Lepe jame. The lowest carbonate and at the same time the highest total hardness and higher concentrations of nitrates and sulphates reaches the aggressive water from the chimney in Lepe jame.

From previous measurements we can infer that the corrosion effects of percolating water in Pisani rov and in Lepe jame could not be the result of increased concentrations of sulphates, nitrates and chlorides as these anions are present in the same amount in supersaturated percolating water which deposits flowstone. It seems that the reason for corrosion lies in periodically undersaturated water with carbonates when it comes to the cave, which is probably due to mode of percolation.

The increased content of sulphates, nitrates and chlorides mostly in the precipitations, combined by vegetation and lithology influences could be reflected in the composition of percolating water in the cave, but on its way through the cave roof the water is neutralized, causing augmented corrosion in the cave roof itself and this is not the reason for corrosion in the cave.

KRAŠKA BIFURKACIJA PIVKE NA
JADRANSKO ČRNOMORSKEM
RAZVODJU

PIVKA KARST BIFURCATION ON ADRIATIC BLACK SEA
WATERSHED

PETER HABIČ

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12)

Habič, Peter: Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomoorskem razvodju

Prikazani so rezultati sledenja Pivke pri Trnju in Stržena pri Postojni (Slovenija, Jugoslavija) v sušnem poletju 1988. Prvič je dokazan podzemeljski odtok iz Javornikov in Pivke, ki pripada črnomoškemu porečju v izvire Vipave in z njo v Jadransko morje. V razpravi so omenjeni še drugi primeri kraške bifurkacije v vadozni in freatični coni krasa. Podčrtan je pomen znanja o obsegu in režimu površinskega in podzemeljskega raztekanja za varovanje kraških vodnih virov.

Ključne besede: sledenje voda, kraška bifurkacija, jadransko-črnomoško razvodje, Pivka, Slovenija

Abstract

UDK 556.34.04(497.12)

Habič, Peter: Pivka Karst Bifurcation on Adriatic - Black Sea Watershed

The results of Pivka near Trnje and Stržen near Postojna (Slovenia, Yugoslavia) water tracing in dry summer 1988 are presented. The underground runoff from Javorniki and Pivka, belonging to Black Sea water basin, towards Vipava springs and further on to Adriatic Sea was evidenced for the first time. Other examples of karst bifurcation in vadose and phreatic karst zone are mentioned in the treatise. The importance of knowledge on extent and regime of superficial and underground flows for the karst water springs protection is underlined.

Key words: water tracing, karst bifurcation, Adriatic-Black Sea watershed, Pivka, Slovenia

Naslov - Address

Prof.dr. Peter Habič, dipl. geogr.

Inštitut za raziskovanje krasa Titov trg 2

YU - 66230 POSTOJNA

UVOD

Ugotavljanje zaledja kraških izvirov je vedno bolj povezano s prizadevanji za zavarovanje zajetih ali perspektivnih vodnih virov v kraških vodonosnikih. Kras hrani pri nas in po svetu pomembne zaloge pitne vode, ki pa je izpostavljena različnim škodljivim vplivom in s tem ogrožena. Za določitev najmanjše izdatnosti izvirov, le ta je za oskrbo odločilna, je treba poznati velikost zaledja, še potrebnejše pa je znanje o dejanski razsežnosti zaledja kraškega vodnega vira za njegovo učinkovito varovanje.

Znano je, da se v krasu vode podzemeljsko in površinsko raztekajo iz istega območja hkrati, ali pa ob različnih vodostajih, na več strani. Pri hidroloških analizah in pri varovanju kraških vodnih virov moramo zato resno upoštevati površinske in podzemeljske bifurkacije. S to problematiko smo se znova srečali pri preučevanju sestavljenega zaledja kraškega vodnega vira v Malnih na Planinskem polju, iz katerega se oskrbuje Postojna z okolico. V izviri Unice se pojavijo vode iz Cerknice, Javornikov in Pivke. Del voda iz tega zaledja, kot je bilo že večkrat dokazano z barvanjem, odteka iz Cerknice mimo Planinskega polja neposredno v izvire Ljubljani, Ljubije in Bistre. Z novim sledilnim poskusom pa smo prvič dokazali podzemeljsko odtekanje Pivke iz zahodnega obroba Javornikov pod flišno Pivško kotlino v izvire Vipave in Timava. S tem je dokazano novo območje podzemeljske kraške bifurkacije na jadransko črnomořskem razvodju. V razpravi so omenjeni še drugi znani primeri kraškega raztekanja v različna povodja, predstavljeni so rezultati zadnjih sledilnih poskusov na Pivki in ocenjene praktične posledice novih ugotovitev na hidrološke razmere in zavarovanje vodnih virov Unice, Vipave in Timava.

KRAŠKA PODZEMELJSKA IN POVRŠINSKA BIFURKACIJA

F.Jenko (1959, 57) omenja, da so kraške bifurkacije zelo pogostne, lahko so površinske, podzemne ali nekako mešane, površinsko podzemne. Sploh je kraška povodja najprimerneje obravnavati kot bifurkacijska. Znana je površinska bifurkacija na Cerkniškem polju, kjer poplavne in jezerske vode ponikajo v različne požiralnike in odtekaajo proti Bistri in proti Planinskemu polju. Površinsko se razdvajajo tudi vode na Ribniškem polju, kjer odtekaajo skozi Tentero in ponikve pod Ribnico v Krko, najvišje vode pa se prelivajo v Rinžo in z njo v Kolpo. Po Jenku je največje površinsko razvodje na Dinarskem krasu na Popovem polju v Hercegovini, kjer odteka Trebišnjica skozi vzvodne ponikve v Dubrovačko reko in v morje, večje vode pa skozi skrajne nizvodne ponikve v Neretvo. Med največje kraške bifurkacije v Evropi pa uvršča raztekanje Donave pri Immendingenu v Nemčiji, kjer ponika del Donave v številnih ponorih, izvira pa v 12 km oddaljenem Aachu, ki odteka v Bodensko jezero in s tem

v Ren. Tej bifurkaciji je bila namenjena posebna pozornost ob 2. mednarodnem simpoziju o sledenju voda leta 1970. Rezultati predhodnih raziskav in kombiniranega sledilnega poskusa so objavljeni v *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie*, Graz 1970. Ponikanje Donave, ki izgublja vodo črnomskega povodja na račun severnomorskega, omenjajo številni kraški hidrološki učbeniki (Zötl, 1974; Bögli, 1978) pa tudi geomorfološke enciklopedije (Fairbridge, 1968, 1222). Nanjo so ponovno opozorili Hötzl, Maurin in Zötl (1976, 177), ko so ob kombiniranem sledilnem poskusu v porečju Ljubljane pred 3. mednarodnim simpozijem o sledenju voda prvič dokazali tudi raztekanje Hotenjke in sosednjih ponikalnic Pikeljščice in Žejskega potoka v izvire Ljubljane in v Podrotejo ob Idriji. Dokazana bifurkacija na jadransko črnorskem razvodju je bila najzanimivejši in regionalno pomembni rezultat tega sledilnega poskusa. Dodan je bil nov prispevek k razmejitvi poglavitnega evropskega povodja med Jadranskim in Črnim morjem. Kraško podzemeljsko raztekanje je tu povezano z naravno geološko zgradbo (Mlakar, 1969), ko površinske vode s krovne triasne dolomite ponikajo v jurske in kredne apnenice v podlagi, od koder hkrati odteka v jadranske in črnomorske pritoke.

Raztekanje vode v visokem krasu med Idrijo in Sočo je bilo dokazano z barvanjem ponikalnice v Čepovanu (Habič, 1982). Obarvana voda je odtekla v treh smereh, na sever proti Idriji v izvir Hotešček, proti zahodu v izvire ob Avščku in proti jugu v Mrzlek in izvire ob Soči v takratni gradbeni jami za HE Solkan. K takemu raztekanju so verjetno pripomogle izdatne padavine skoraj mesec po vlitju sledila, ki so oprale obarvano podzemlje in pospešile odtok iz osrednjega dela visoke kraške planote na vse tri možne strani.

Podobno raztekanje je bilo dokazano z barvanjem majhnih ponikalnic na Vodicah in pri Črnem vrhu nad Idrijo. Iz obeh ponikalnic odteka voda v izvire ob Idriji na eni ter v izvir Hublja, z Vodic najbrž tudi v Vipavo, na drugi strani visoke Hrušice in Trnovskega gozda. Večji del sledila iz obeh požiralnikov se je pojavil v izvirih ob Idriji, manjša sled uranina z Vodic pa je bila ob tem poskusu ugotovljena tudi v izvirih Ljubljane v Močilniku pri Vrhniki (Habič, 1987). Sledovi uranina v Močilniku so se pojavili šele po močnejšem dežju, ki je očitno pospešil odtekanje vode in izpiranje sledila z razvodnega predela visokega krasa na več strani.

Raztekanje voda v visokem krasu se sklada s predstavami o oblikovanju osrednjega vodnega telesa (Karstwasserkörper, Bögli, 1978, 124) z razvodnim fleksibilnim temenom (Karstwasserscheitel, Zötl, 1974, 89). Na tak način so skušali pojasniti presenetljive rezultate sledilnih poskusov na Dachsteinu in na drugih gorskih enotah Severnoapneniških Alp (Zötl, 1974). O načinu raztekanja prenikajoče vode v vadozni coni smo se prepričali s sledenjem curka nad Planinsko jamo (Kogovšek, Habič, 1981), kjer se deževnica z ene točke na površju, na primer iz dna vrtače, pahljačasto razteka v različne curke, hkrati pa se kapljice iz različnih točk združujejo v skupne curke.

Poleg raztekanja vode pri navpičnem prenikanju skozi vadozno cono, ki je v visokem dinarskem in alpskem krasu lahko debela od 300 do 2500 m, so speleološke raziskave opozorile tudi na raztekanje ali bifurkacijo sklenjenih podzemeljskih tokov v epifreatični ali poplavni coni krasa. V nasprotju s prevladujočim združevanjem ponikajoče vode v širši ponorni coni, v

dnu ali na obodu kraških polj in slepih dolin, so znane tudi cepitve že sklenjenih tokov. Raztekanja so bodisi lokalnega ali širšega regionalnega značaja, stalna pri vseh vodostajih ali le občasna pri višjih oziroma le najvišjih vodah, ko se te prelivajo iz enega v več ločenih vodnih spletov ali celo povodij.

Lokalno podzemeljsko raztekanje je znano v Postojnskem jamskem spletu, kjer se del Pivke ob višjih vodah preliwa po Perkovem rovu proti Črni jami, del pa odteka skozi Magdaleno in Pivko jamo proti Planini. Oba kraka se spet združita nekje v nedostopnem podzemlju med Pivko in Planinsko jamo, kar je dokazano s sledenjem. Ločen odtok skozi Črno in Pivko jamo se v Planinski jami pokaže z dvojnimi barvnimi valovi, odtok skozi Črno jamo nekoliko zamuja, koncentracija sledila pa je nižja kot v prvem valu skozi Pivko jamo (Avdagič, Preka, 1976).

V Karlovcih, najpomembnejših vodnih jamah na Cerknškem polju, se podzemeljski vodni rovi večkrat cepijo (Gospodarič, 1970). Z barvanjem je ugotovljeno, da odteka voda iz Karlovic ločeno v Rak skozi Zelške jame, delno pa po drugi poti v Kotličce. Tja odteka tudi vode Cerknškega jezera, ki ponikajo v Svinjski jami, zaradi višje lege Karlovic pa voda iz Svinjske jame ne doseže Zelških jam, prelivanje je tedaj možno le iz višjih rovov v nižje (Gospodarič, Habič, 1979).

V Kačni jami pri Divači je ugotovljeno raztekanje Notranjske Reke v dva ločena jamska spleta, nižje vode se iz sklenjenega Škocjanskega rova usmerijo bolj proti zahodu, po višjih prelivnih rovih pa odteka visoka Reka proti severozahodu (Mihevc, 1984).

Vzroki za podzemeljsko raztekanje so različni, poleg geološke zgradbe in razpokanosti kamnin ima pomembno vlogo mlada tektonika in premikanje blokov, podiranje in zasipanje rovov ter splošni razvoj vodnih poti v širšem območju. K razporeditvi podzemeljskega odtoka ter k površinski in podzemeljski bifurkaciji pomembno prispeva tako imenovana maksimiranost kraškega podzemlja (Gams, 1970), ki vpliva na zastajanje vode in dviganje njene gladine. Višinska razporeditev izvirov, razpokanost, mlada tektonska dinamika in erozijsko korozijsko širjenje votlin vplivajo na smer in količino odtoka iz globoke freatične cone krasa. Z njo so povezana poglobitna bifurkacijska območja visokega dinarskega krasa, ki mu pripada tudi celotna Pivka.

Kraško bifurkacijo na jadransko črnemorskem razvodju je prvi omenil že Jenko (1959, 57–61). Na gornji Pivki naj bi bila vodna gladina, razen ob poplavih, v podzemlju nagnjena od Knežaka in Bača proti Koritnicam, kar sklepa po gladinah v vodnjakih pri Baču in v vrtinah za pitno vodo pri Koritnicah. Na podzemeljsko odtekanje iz Knežaka proti Bistrici sklepa Jenko tudi po nagnjenosti dna kotline med Koritnicami in Knežakom. Trdnejšega dokaza za bifurkacijo pa ne navaja, zato ni povsem jasno, ali gre za dejansko raztekanje podzemeljske kraške vode proti Pivki in proti Notranjski Reki, ali pa le za podzemeljsko pretočitev v prvotnem povirju Pivke nad Bačem. Po reliefnih razmerah namreč precej zanesljivo sklepamo, da so vode iznad Koritnic prvotno odtekale površinsko v Pivko čez prag med Bačem in Zagorjem. V kvartarju je bila dolina Pivke poglobljena od ponorov pri Postojnski jami do Zagorja in prav v povirnem delu okrog Zagorja je nastala vrsta plitvih kraških globeli, ki se občasno

spremene v jezera (Habič, 1975; 1986). Med Knežakom in Koritnicami je dno kraške globeli prekrito s kvartarnim drobirjem, ki so ga nasule hudourniške vode izpod Milanje (1099 m) in prispevale k hitrejšemu korozijskemu poglobljanju globeli v prvotnem pedimentnem ravniku. Poglobitev pa ni segla nižje kot pri Zagorju, zato je možno, da se kraška voda na območju Knežaka preliva proti Pivki, kot je dokazano z barvanjem Kneških ponikev (Habič, 1968) ali proti Podstenjščku pri Šembijah, ali proti Bistrici.

Med Zagorjem in Knežakom je znano flišno okno (Pleničar, 1959), kjer se pokaže fliš izpod krovnih apnencev razmeroma visoko, medtem ko ga v globlji reliefni vrzeli pri Šembijah ni videti. Verjetno je flišna podlaga ostala skrita pod dnom uvale med Knežakom in Šembijami, kjer se ob visokih vodah pojavi manjše kraško jezero z gladino do višine 560 m.

O drugi bifurkaciji na jadransko črnemorskem razvodju v Pivški kotlini je poročal Habe (1976,166). V studenskem flišnem zatoku je opazil zanimivo hidrološko posebnost. Del voda ponikalnice Osojščice se preliva v Belščico in z njo v Vipavo, del pa odteka v podzemeljsko Pivko in z njo proti Črnemu morju. Bifurkacija nastaja le ob visokih vodah, ko se dvignejo vode v podzemeljskih kanalih pred Belsko žago do bruhalnikov, ki odvajajo vodo v Belščico, delno pa tudi v požiralnik v Matičkovi ogradi, medtem ko nizke vode odteka v sistem podzemeljske Pivke.

Tretjo bifurkacijo na Pivki smo opazili v zatrepni dolini Biščevci pri Hruševju. Tam se ob višjih vodostajih preliva voda iz robnega krasa v površinsko Nanoščico, ki se steka s fliša okrog Razdrtega. Nizke vode iz zaledja Biščevcev se po vsej verjetnosti pridružijo podzemeljskim vodam Sajevoščice, ki ponika pol kilometra vzhodneje v požiralnikih Sajevoškega polja (Habe, Hribar, 1964) in odteka v izvire Timava, kot je bilo dokazano z barvanjem leta 1987 (Habič, 1989).

Četrto najobsežnejše bifurkacijsko območje na Pivki je bilo ugotovljeno z barvanjem požiralnikov Stržena pri Rakitniku in Pivke pri Trnju. S sledilnim poskusom v sušnem poletju 1988 je bilo dokazano, da del podzemeljskih kraških voda s Pivke med Prestrankom in Rakitnikom ob zahodnem obrobju Javornikov stalno odteka proti Vipavi in del tudi proti Timavu, del pa v izvire Unice na Planinskem polju. Poleg podzemeljske pa obstaja tudi površinska bifurkacija, saj se ob višjih vodostajih del javorniških voda preliva v površinsko Pivko, ki skupaj z Nanoščico napaja postojnsko podzemlje in po tej poti tudi izvire Unice (slika 1).

Slika 1 Pivka, hidrogeološka skica

- 1) erozijska diskordanca, 2) stratigrafska meja, 3) domnevni prelom, 4) prelom, 5) nariv, 6) domnevni nariv po U.Premru, 7) domnevni nariv in prelom po L.Placer, 8) z barvanjem dokazane zveze ponikalnic, 9) ponikalnice, 10) cona skritega krasa s podzemeljskim odtokom Pivke proti Vipavi, 11) bifurkacijsko območje

Fig.1 Pivka, hydrogeological sketch

- 1) erosion discordance, 2) stratigraphic border, 3) supposed fault, 4) fault, 5) overthrust, 6) supposed overthrust according to U.Premru, 7) supposed overthrust and fault according to L.Placer, 8) connections of sinking streams evidenced by water tracing, 9) sinking streams, 10) zone of hidden karst with underground runoff of Pivka towards Vipava, 11) bifurcation area.

KRATEK PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV PIVKE

V povodju kraške Pivke so bile vodne razmere doslej že večkrat obravnavane. Jenko (1959 a) je prvi dokazal zvezo ponikalnice v Breznu na Kremenci pri Postojni z izviri v Malnih in Planinski jami. Za razdaljo 8,5 – 9,9 km je obravnavana voda potrebovala 444 – 475 ur, tekla je torej s hitrostjo 0,5 – 0,6 cm/s.

V letih 1967 do 1969 so bile opazovane vodne razmere Pivke od Zagorja do Stare vasi pri Postojni. Rezultati teh opazovanj in meritev so podani v študiji o vodnih virih za oskrbo Postojne (Habič s sodelavci, 1968, Arhiv IZRK) in delno objavljeni (Habič, 1969; 1975). S sledilnimi poskusi je bila dokazana zveza Kneških ponikev z izviri pri Zagorju, Palškega jezera z izviri pri Trnju ter Petelinjskega jezera z izviri v Mlakah pri Žejah. Z raziskavami Orehovškega krasa v zaledju izvira Korentan je bila dokazana visokovodna zveza Sušice z izviri Pod Poličkom pri Prestranku (Gospodarič, Habe, Habič, 1970). Nepojasnjena je ostala zveza ob nizkih vodah, ko izvir Pod Poličkom presahne, Sušica pa še vedno ponika na Prestranskem ravniku.

Opazovanja vodnih gladin v vrtinah pri Žejah, Stari vasi in v Kobiljih grižah ter v Matijeve jami (Habič, 1985) so nakazala splošno usmerjenost odtoka nizkih voda iz povirja Pivke pod Javorniki proti izvirom Unice na Planinskem polju. Takoj pa moram opozoriti na razliko v gladini vode v Kobiljih grižah po novi izmeri. Stare podatke je treba povišati za 13,37 m.

Dosedanje speleohidrološke raziskave podzemeljske Pivke v Postojnski in Planinski jami (Gospodarič, 1976, Preka in dr., 1976) niso dokazale neposredne povezanosti Pivke z izviri v Malnih. Večkrat je bila potrjena le zveza Pivke s Pivškim rokavom Planinske jame. Razlike v pretokih so pripisane vmesnemu dotoku iz kraškega podzemlja. Zveze studenskih ponikalnic s podzemeljsko Pivko še niso dokazane s sledenjem.

V Rakovem rokavu Planinske jame naj bi se mešale javorniške in cerkniške vode. Ob visokih vodah se prelivajo na površje skozi Planinsko jamo, ob nizkih vodah pa naj bi javorniške vode prečkale skrajni del Rakovega rokava in odtekale proti izvirom v Malnih. Ta zveza je bila dokazana z barvanjem (Michler, 1955), pozneje pa še večkrat potrjena s hidrokemičnimi in temperaturnimi meritvami (Gams, 1966; Habič, 1987).

Z barvanji so bile ugotovljene tudi zveze izvirov v Malnih s ponori v Rakovem Škocjanu in na Cerkniškem jezeru (Habič, 1987). Dokazan je bil odtok s severnega flišnega obrobja Pivke pri Predjami v izvire Vipave (Habe, 1963). Leta 1987 je bila z barvanjem med drugim dokazana tudi zveza Sajevskega potoka z izviri Timava (Habič, 1989).

Po neuspelem sledenju Stržena (Habič, 1983) smo preverjali razne možnosti in vzroke nepojasnjenga podzemeljskega odtoka iz zahodnega obrobja Javornikov. Ker je ob Pivki več trajnih virov onesnaževanja, podzemeljske vode pa so stalno ogrožene s škodljivimi snovmi, ki jih prevažajo po cesti in železnici med Postojno, Prestrankom in Pivko, je pojasnitev hidroloških zvez Pivke odločilnega pomena za učinkovito zavarovanje kraških vodnih virov, ki se napajajo iz Javornikov.

PRIPRAVE IN KOMBINIRANI SLEDILNI POSKUS

Po predhodnih speleoloških raziskavah smo ugotovili, da se zniža gladina kraške vode ob zahodnem obrobju Javornikov za 10 do 20 m pod prelivni rob Pivke in njenih kraških pritokov od Zagorja do Stare vasi. Ob splošnem zniževanju gladine kraške vode, navadno v pozni pomladi in začetku poletja, se v Pivko stekajo le kratki površinski pritoki s fliša od Radohove vasi mimo Petelinj, Selc in Slavine do Prestranka. Podobno se s fliša odtekajo proti Pivki tudi vode Stržena med Postojno in Rakitnikom. Površinski pritoki ponikajo bodisi v strugi Pivke, ali pa se izgubljajo v lastnih strugah predno dosežejo Pivko (Sl. 2). Od višine vodne gladine v kraškem podzemlju je odvisno, ali bodo onesnažene površinske vode poniknile v podzemlje, ali pa bodo površinsko odtekle s Pivko skozi Postojnsko jamo.



Slika 2 Izgubljanje nizkih voda v strugi Slavskega potoka

Fig.2 Disappearing of low waters in the Slavenski potok bed

Komunalne in industrijske odplake iz Pivke so speljane v strugo Pivke brez predhodnega čiščenja. Ko kraška Pivka presahne, se odplake stekajo po strugi proti Trnju, kjer se izgubljajo v manjšem požiralniku. Del voda se izgubi v strugi že pred požiralnikom. Če je pretok manjši od 5 l/s, odplake sploh ne dosežejo požiralnika. Pri pretoku nad 50 l/s pa vode zalijejo požiralnik in delno odtekajo naprej po strugi Pivke. Za barvanje je primeren pretok okrog 10 l/s, ko odplake nemoteno ponikajo v požiralniku sredi struge.

Slavenski potok, Sušica, Selšček in drugi manjši pritoki, se izgubljajo v lastnih stugah v širšem požiralem območju, kjer je zakrasela skalna podlaga prekrita s flišno naplavino. Mesto požiranja je odvisno od dotoka in propustnosti podlage. Za barvanje so ti pritoki manj primerni, ker se voda izgublja na daljšem odseku struge.

Ugodnejše so razmere ob Strženu, kjer pretok ob suši uravnavaajo odplake iz Postojne. Te pa je mogoče poljubno preusmeriti v požiralnik ob strugi. Pozimi leta 1982 se je pojavil prvi grez sredi Stržena pri Rakitniku. Ta se je v naslednjih letih zamašil, nov grez pa se je pojavil dobrih deset metrov stran od struge. Vanj smo lahko napeljali Stržen po izkopanem jarku. Leta 1984 so regulirali strugo Stržena med Staro vasjo, Postojno in Rakitnikom. V skalni strugi Pivke med Matenjo vasjo in Prestrankom je znanih še več mest, kjer površinske vode uhajajo v podzemlje. Požiralnik pri Rakitniku leži ob strugi, tako da je za oceno hidroloških zvez njegov položaj zelo pomemben (Sl. 3).



Slika 3 Požiralnik v strugi Stržena pri Rakitniku pozimi 1982. Kasnejši grez se je pojavil ob ogradi na desni strani slike.

Fig.3 Swallow-hole in Stržen river bed near Rakitnik in winter 1982. Sinkhole appeared later near the fence in the right corner of the picture.

Za sledenje smo izbrali dva najbolj razmaknjena požiralnika ob Pivki, da bi tako opredelili hkrati zveze celotnega požirnega območja med Pivko, Prestrankom in Rakitnikom. Ob spremljanju usihanja spomladanskih voda smo se odločili za poskus v začetku avgusta 1988,

ko so bile vremenske in vodne razmere razmeroma ugodne. Dokazovanje podzemeljskih zvez ob nizkih vodah daje izredno pomembne informacije, je pa nekoliko negotovo glede na vreme in zahteva več časa in sledila.

Pri izvedbi sledenja so sodelovali člani Inštituta za raziskovanje krasi ZRC SAZU in zunanji sodelavci. Mag. Janja Kogovšek in M. Luzar sta opravila kemične analize, F. Drole, M. Zlokolica, T. Slabe in N. Zupan so izvedli injiciranje rodamina, L. Drame in S. Šebela sta pomagala pri injiciranju uranina. Vzorce vode so zajemali v Planini A. Milavec, v Vipavi F. Rodman, v Bistrici so se menjavali L. Možina, D. Vovk, M. Puhelj in F. Logar, v Pivškem rokavu Planinske jame je zajemal vzorce F. Drole, v Rakitniku A. Černač in v Prestranku F. Bole. Vzorce Timava sta nam ljubeznivo posredovala dr. F. Gemitti in M. Milič. Pri opazovanju vodostajev v Matijevi jami in v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih Grižah so mi pomagali T. Slabe, F. Drole, A. Mihevc, J. Hajna in M. Zlokolica.

Vsebnost uranina in rodamina v vzorcih so po ustaljeni metodi opravili na HMZ SRS v Ljubljani, pod vodstvom ing. Martine Zupan. Povečan dotok v požiralnik pri Trnju so omogočili ing. M. Žmak iz Komunalnega podjetja Postojna ter ing. S. Torkar iz Javorja v Pivki. Grafične priloge je oblikoval L. Drame. Vsem se za pomoč in sodelovanje najlepše zahvaljujem.

Kljub precejšnji razdalji do izvirov in razmeroma majhni hitrosti nizkih voda smo že pred obarvanjem organizirali zajemanje vzorcev v izviri Unice in sicer v spodnjem izviru v Matnih, ob iztoku iz Planinske jame in v izviru Olarice pod naseljem Planina. Poleg izvirov Unice smo opazovali tudi izvir Bistrice v Ilirski Bistrici in izvire Vipave, da bi tako zajeli vse možne iztoke iz območja Pivke. Ko se po daljšem času ni še nikjer pojavila vidna sled barvila, smo zaprosili tudi za vzorce vode iz izvirov Timava. Ob Pivki pa smo zajemali površinske vode v času, ko se je po dežju v septembru Pivka prelila na površje. Vzorčevali smo Pivko pri Prestranku, Stržen pri Rakitniku in nekaj časa tudi Pivko v Pivškem rokavu Planinske jame.

Pred in med sledenjem smo spremljali hidrološke razmere v podzemlju z opazovanjem gladine v Matijevi jami in v vrtinah pri Stari vasi ter v Kobiljih Grižah. Ponovno so bile tudi premerjene nadmorske višine izhodiščnih točk za določanje višine vode. Hkrati z meritvami višin smo zajemali tudi vzorce vode za kemične analize. Rezultati analiz in meritev so prikazani v posebnem poglavju. Višina vrtine pri Stari vasi je bila pravilno določena na 527,52 m. Bistveno pa je popraviljena višina vrtine v Kobiljih Grižah. Po novem merjenju je višina 588,34 m, kar je za 13,37 m višje od višine, ki smo jo prevzeli po podatkih Geološkega zavoda. Novo izmerno je izvedel F. Drole, za izhodišče je izbral reper št. 1163 pri Domu upokoјencev na Kremenci v Postojni z višino 543,33 m.

SLEDENJE PIVKE V POŽIRALNIKU PRI TRNJU

Odplake iz Pivke so se v toplih poletnih dneh izgubljale v strugi Pivke že pred požiralnikom (Sl. 4). V podjetju Javor smo se dogovorili za dodatno vodo iz tovarniških rezervoarjev in s Komunalnim podjetjem Postojna za dodatno vodo iz vodovodnega omrežja. Tik pred injiciranjem 20 kg uranina, raztopljenega v 100 l vode, smo k 5 l/s normalnega odtoka iz kana-

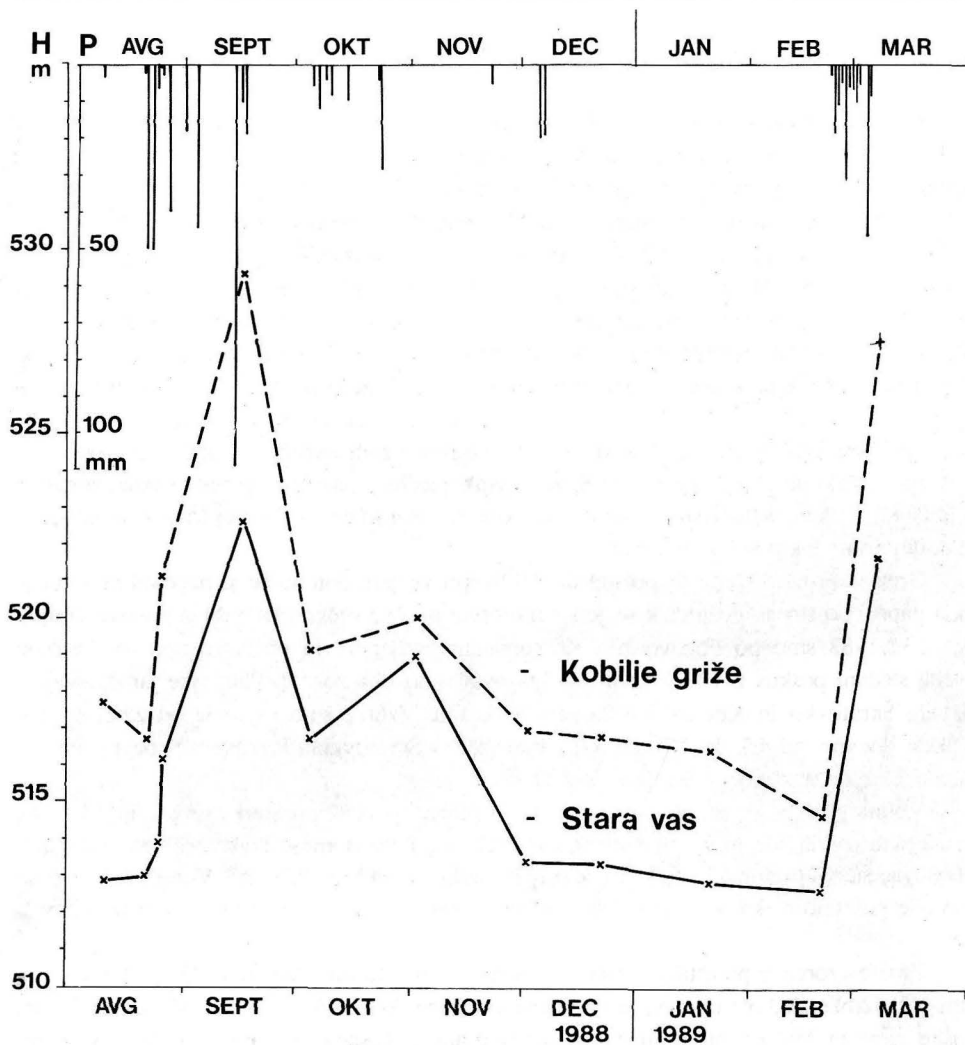
lizacije dodali še okrog 5 l/s iz Javorja in iz vodovoda, skupno 430 m³. Ob povečanem pretoku iz kanalizacije so odplake kmalu dosegle požiralnik in ko je ta požiral 5 l/s, smo dne 9/8–1988 ob 21. uri vili barvo v skalno odprtino v strugi Pivke. Barva je takoj odtekla, nismo pa mogli ugotoviti, koliko pod površjem se zadržuje gladina kraške vode. V Matijevi jami je bila tedaj gladina na 516,4 m, v Kobiljih grižah na 517,8 m in v vrtini pri Stari vasi na 512,8 m. Nihanje gladine v naslednjih mesecih je prikazano na sliki 5.



Slika 4 Odplake iz naselja se izgublajo ob nizkih voda v strugi Pivke predno dosežejo požiralnik v Trnju

Fig.4 During the low waters the wastes from the settlement disappear in Pivka river bed before reaching the swallow-hole near Trnje

Po dežju 22. in 23. 8. se je nekoliko povečal dotok iz kanalizacije, vendar Pivka ni pritekla iz izvirov pri Zagorju in Parju. Ob povečanem dotoku (50 l/s) je bil požiralnik pri Trnju zalit, toda voda ni odtekala naprej po strugi. Pivka se je dvignila iz podzemlja po dežju šele sredi septembra, ob koncu tega meseca pa je ponovno presahnila in vse do začetka marca 1989 se ni več pojavila v strugi. Ves ta čas so odplake iz Pivke ponikale v podzemlje in, kot kažejo rezultati sledenja, odtekale neposredno v zajetja v Malnih.



Slika 5 Nihanje vodne gladine v vrtinah pri Stari vasi in pri Kobiljih grižah v primerjavi s padavinami v Postojni od avgusta 1988 do marca 1989

Fig.5 Water level oscillations in the bore holes near Stara vas and near Kobilje griže compared to precipitations in Postojna from August 1988 to March 1989.

SLEDENJE STRŽENA V POŽIRALNIKU PRI RAKITNIKU

Stržen napajajo kraške vode iz izvirov ob robu Javornikov med Staro vasjo pri Postojni in Rakitnikom. Ko dotok iz krasa preneha, hranijo Stržen vodice s fliša južno od Postojne in mestne odplake, ki jih sedaj delno očistijo na skupni čistilni napravi.

V strugi Stržena pri Rakitniku se je 10. februarja 1982 prvič pojavil grez, ki je nekaj časa požiral vso, takrat še neočiščeno vodo postojnske kanalizacije. O grezu nas je prvi obvestil Zmago Žele, uslužbenec Postojnske jame iz Prestranka. Pojav smo si ogledali 16.2.1982 in ugotovili, da je nastal grez v mladih naplavinah Stržena, ki v tem delu doline prekrivajo zakrasele apnenice. Dolina Stržena je sicer izoblikovana ob stiku apnenca in fliša, pri Rakitniku pa se zoži prav tam, kjer je ujeta v apnenice. Tu je dolina Stržena najožja, zato jo tam tudi najlažje prečka cesta Postojna – Pivka. Ob robu nizke skalne police na levem bregu Stržena, na kateri je nameščena večina hiš Rakitnika, je dvoje polkrožnih zatrepov. V njih zastajajo vode, ki se tja stekajo po plitvih strugah iz Stržena. Nakopičena umazanija ob robu nakazuje mesto izgubljanja Stržena v podzemlje. Ponikve ob robu ravnice so očitno že dalj časa aktivne, nanje pa dotlej nismo bili posebno pozorni.

Grez v strugi Stržena je požiral do 50 l/s, pri večjem dotoku se je napolnil in voda je tekla naprej po strugi. Požiralnik se je sredi februarja 1982 večkrat zamašil in ponovno odprl. Dne 23.2.1982 smo po dogovorih s Komunalnim podjetjem in občinsko upravo Postojne izvedli sledilni poskus z 10 kg uranina. Opazovali smo oba rokava Planinske jame, izvire v Malnih, Škratovko in Kotličje v Rakovem Škocjanu. Vzorce smo zajemali od 22.2. do 4.3. dvakrat dnevno, od 4.3. do 26.3. štirikrat dnevno, le v Škratovki in Rakovem Škocjanu enkrat na dan. Skupno smo zajeli v 21 dneh 392 vzorcev.

Vodna gladina je bila ob začetku sledenja februarja 1982 pri Stari vasi v višini 513,6 m, pri Žejskih izvirih 515 m in v Kobiljih grižah 517,3 m. Po vodomerni Pivke pri Postojnski jami ($H=80$) je znašal pretok $1,27 \text{ m}^3$, Unice pri Hasberku ($H=47$) pa $7,36 \text{ m}^3$. Vode v tistem času niso bile posebno nizke, vendar je bila gladina v krasu ob strugi Pivke vsaj 10 m pod površjem.

Zajete vzorce je po ustaljeni metodi analizirala ing. Martina Zupan iz HMZ SRS v Ljubljani. Zelo šibke sledove uranina je ugotovila v vzorcih Škratovke in Raka. V vzorcih iz Planinske jame in Malnov ni bilo nobenih sledov uranina. Kasneje smo izvedeli, da so v tistem času z uraninom barvali neki potok na Blokah in ni izključeno, da so sledovi v Raku in Škratovki z Blok in ne iz Stržena.

Po neuspešnem sledenju leta 1982 se je pojavila vrsta vprašanj in pomislekov o morebitni razgradnji uranina v komunalnih odplakah ali o daljšem zadrževanju od treh tednov, ali o povsem drugi smeri odtoka. Po kritičnem pretresu raznih možnosti smo se leta 1988 lotili ponovnega sledenja z razširjeno mrežo opazovanja.

Požiralnik v strugi Stržena se je ob koncu marca 1982 zamašil in se kasneje ni več odprl. Pred tremi leti pa je nastal prav v bližini, le dobrih 10 m vstran od struge, na njenem levem bregu nov grez, širok 2 m in globok 4 m. Pod dober meter debelo plastjo ilovice je bila vidna

zakrasela skalna podlaga. Očitno je bil to že star, z ilovico in drobirjem zasut požiralnik. Niha-joča gladina kraške vode pod strugo Stržena je počasi spodkopavala naplavino in končno se je skrita votlina odprla na površje. Ob regulaciji Stržena so grez že nameravali zasuti, vendar smo se z domačini in urejevalci struge iz VGP HIDRO iz Kopra dogovorili, da bomo prej skušali ugotoviti, kam lahko odteka voda iz tega požiralnika.

Ob visokih vodah je bil grez popolnoma preplavljen (Sl. 6), ob nizkih pa je voda iz njega odtekala v neznano podzemlje. Dejanskega znižanja gladine ni bilo mogoče opazovati globlje od 4 m, spremljali smo jo lahko le posredno v vrtnah pri Stari vasi in Kobiljih grižah. S poskusnim dovajanjem vode iz Stržena smo ugotovili, da požira grez do 100 l/s. Pri višjih dotokih ga voda sicer zalije, vendar se njegova požiralnost bistveno ne zmanjša. Le pri zelo visokih vodah nismo mogli ugotoviti, ali grez deluje tudi kot izvir.



Slika 6 Ob višjih vodah je bil požiralnik ob Strženu pri Rakitniku poplavljen
Fig.6 During higher waters the swallow-hole Stržen near Rakitnik was flooded

V začetku avgusta 1988 smo pred poskusom ponovno preskusili požiralne lastnosti greza z umetnim uravnavanjem dotoka iz Stržena. Dne 9.8.1988 ob 12. uri smo nato v požiralnik, s pretokom 10 l/s, vlili 20 kg raztopljenega rodamina. Obarvana voda je nemoteno odtekla, v požiralnik pa smo nato še dober mesec odvajali 10 l/s vode iz Stržena (Sl. 7). Sredi oktobra so delavci VGP grez zasuli s kamenjem, še prej pa vanj vgradili 4 m dolgo cev za opazovanje gladine.



Slika 7 V požiralnik pri Rakitniku je iz Stržena otekalo po umetni strugi ves avgust 1988 okrog 10 l/s
 Fig.7 From Stržen during the August 1988 about 10 l/s of water flew into swallow-hole near Rakitnik by the artificial river bed

Zajemanje vzorcev je bilo organizirano skupno s sledenjem Pivke z uraninom. Ves čas smo spremljali tudi nihanje gladine v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih grizah. Podatki so prikazani v tabeli 2 in sliki 5.

DOKAZANE ZVEZE PIVKE PRI TRNJU

Izviri v Malnih

Prva sled uranina je bila v izvirih Malenščice ugotovljena 7.9.1988 ob 6. uri, to je po 28 dneh in 9 urah ali skupno 681 urah. V 15,3 km oddaljenem izviru se je prva sled pojavila v koncentraciji $0,02 \text{ mg/m}^3$. Pri povprečnem strmcu $5,5^\circ/\infty$ je znašala navidezna hitrost $0,62 \text{ cm/s}$. Prvi vrh barvnega vala se je pojavil šele po petih dneh, to je 12.9., s koncentracijo $0,7 \text{ mg/m}^3$, drugi pa 14.9. s koncentracijo $0,9 \text{ mg/m}^3$. Tretji vrh se je pojavil 17.9., vendar s precej nižjo koncentracijo $0,05 \text{ mg/m}^3$. Prvemu valu s tremi viški je sledilo 10-dnevno upadanje koncentracije, tja do 26.9. ($0,006 \text{ mg/m}^3$), nato pa je 10 dni koncentracija spet naraščala in dosegla vrh med 6. in 8.10.1988 ($0,4 \text{ mg/m}^3$). Enakomerno upadanje drugega, nižjega, a daljšega barvnega vala smo zasledovali do začetka novembra.

Prvi sklenjeni val s tremi viški se je torej pojavil v Malnih po dobrem mesecu od vlitja uranina v požiralnik pri Pivki. Trajal je dobrih 10 dni, nakar je sledilo izdatno razredčenje, po naslednjih desetih dneh oziroma 50 dni od vlitja se je pojavil drugi val, ki je trajal dober mesec. Podobne razmere smo ugotovili tudi v vzorcih Unice iz Planinske jame, kar nakazuje skupno zaledje in razmeroma sklenjen dotok nizkih voda s Pivke pod Javorniki v izvire Unice na Planinsko polje.

Izvir Unice v Planinski jami

V Unici iz Planinske jame se je prva sled pojavila 5.9. 1988 ob 16. uri v koncentraciji $0,009 \text{ mg/m}^3$. Za komaj 300 m krajšo zračno razdaljo je potrebovalo sledilo 38 ur manj kot v Malne. Navidezna hitrost znaša $0,65 \text{ cm/s}$ ali $23,3 \text{ m/uro}$. Razlika na celotni poti ni bistvena, je pa značilna za že znane razlike v odtoku iz Planinske jame proti Malnom in po Rakovem rokavu na površje (Habič, 1987 a).

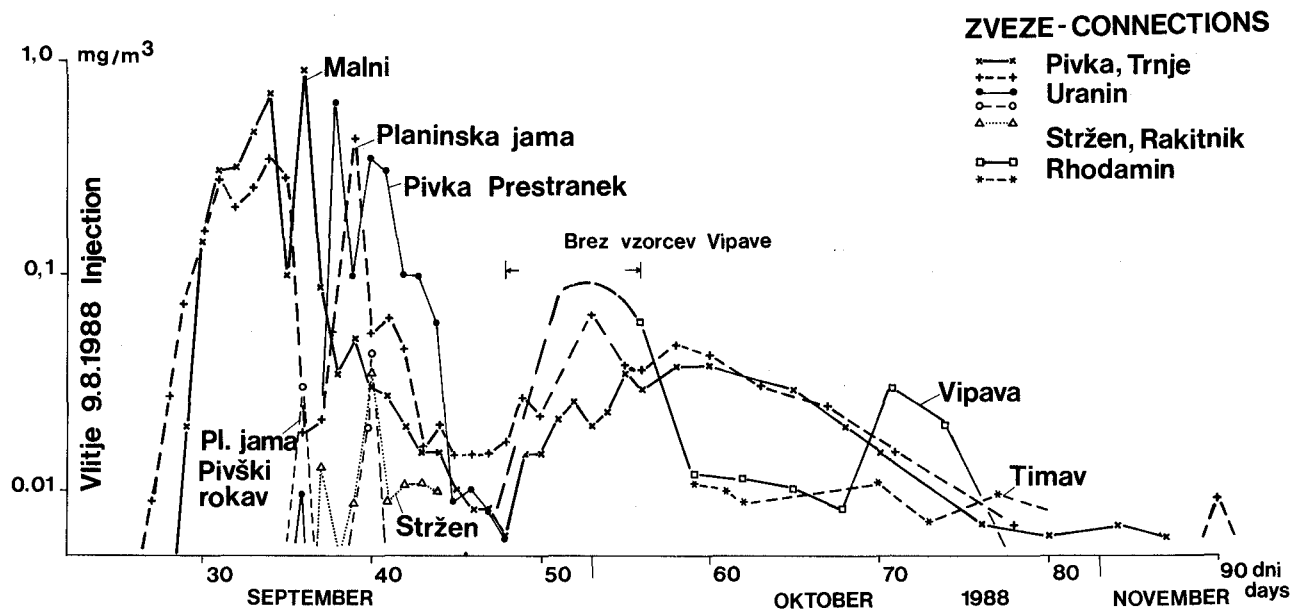
V splošnem je razpored koncentracij uranina v Unici zelo podoben kot v Malenščici (Sl. 8). V prvem desetdnevem višjem valu so prav tako izraženi trije viški, le da prehitvajo one v Malnih za okrog 30 ur. Drugi, nižji in daljši val je skoraj v celoti skladen z drugim valom v Malnih, kar je očitna posledica skupnega hidrološkega zaledja oziroma skupnega napajanja iz javorniškega toka. Znižanje koncentracije med prvim in drugim valom povezujeemo z vplivom septembrskega dežja in povečanim dotokom neobarvane vode iz javorniškega zaledja. Ta dotok je vplival na izdatnejše razredčenje v času od 40 do 50 dni po vlitju uranina v požiralnik. Drugi, nižji val je razumeti kot normalno iztekanje sledila po siceršnjem razredčenju, vendar ob usihanju neobarvanega dotoka.

V krivuljah koncentracij uranina v Malnih in v Unici iz Planinske jame se kažeta le dve pomembnejši razliki. Tretji višek v prvem valu je v Malnih precej nižji kot v Planinski jami, podobna je tudi razlika v začetku drugega vala. Domnevamo, da je na nižje koncentracije v Malnih vplival dotok cerkniških voda, ki sicer odrivajo javorniške vode v Rakov rokav Planinske jame.

Pivka pri Prestranku

Dobrih deset dni po vlitju uranina v požiralnik Pivke pri Trnju ni bilo omembe vrednih padavin. Nekaj več je bilo dežja 22. in 23. avgusta, nato še 26. in 30.8.1988, ko so v Postojni namerili skupno 180 mm padavin. Razsušena zemlja je vpila precej vlage, zato se kraške vode niso prelile iz Javornikov na površje. Šele izdatnejši dež sredi septembra, ko je s 13. na 14.9. padlo prek 100 mm, je napolnil kraško Pivko.

Z opazovanjem Pivke pri Prestranku smo želeli ugotoviti, če se lahko del sledila iz požiralnika pri Trnju pojavi v površinski Pivki. Prvi vzorec Pivke je bil pri Prestranku zajet 14.9. ob 8. uri in v njem je že sled uranina v koncentraciji $0,01 \text{ mg/m}^3$. V vzorcu naslednjega dne ni bilo sledu uranina, dne 16.9. ob 8. uri pa je bil zabeležen že prvi višek koncentracije z $0,645 \text{ mg/m}^3$, čez dva dni pa drugi s koncentracijo $0,380 \text{ mg/m}^3$. Barvni val je v površinski Pivki upadel do končne presahnitve Pivke, dne 27.9.1988.



Slika 8 Primerjava koncentracij uranina in rodamina v opazovanih izviri ob sledenju Pivke pri Trnju in Strženu pri Rakitniku
 Fig.8 Comparison of uranine and rhodamine concentrations in the observed springs during the Pivka near Trnje and Stržen near Rakitnik water tracing

Razmeroma pozen pojav uranina v komaj 5 km od požiralnika oddaljenem Prestranku in dobrih 10 dni po prvem pojavu tega sledila v 15 km oddaljenih Malnih in Planinski jami je nedvomno posledica posebnih vodnih razmer in dolgotrajnega zadrževanja sledila v ožjem zaledju požiralnika. Zelo podobne koncentracije v površinski Pivki pri Prestranku kot v Unici na Planinskem polju to še posebej potrjujejo, čeprav gre v obeh primerih vendarle za različno stopnjo razredčenja ob dotoku čistih voda, ki so praktično oprale podzemlje pod požiralnikom in spravile vlito barvilo spet na površje. Del uranina je po zaslugi narasle vode potoval s površinsko Pivko skozi Postojnski jamski sistem proti Planinskemu polju. Tega barvnega vala na poti skozi Postojnsko jamo nismo v celoti spremljali, čeprav bi nam lahko prinesel nekaj novih spoznanj. Nanj enostavno nismo bili pripravljeni, tudi zaradi drugih obveznosti. Vzorčevanje Pivke v Prestranku smo zastavili še v času, ko o pojavu uranina v Unici in Malenščici še nismo nič vedeli, analize vzorcev pa so v HMZ v Ljubljani opravili šele kasneje. V prihodnje bi morali sproti ugotavljati prisotnost sledil v vzorcih.

Pivški rokav Planinske jame

Z vzorčevanjem Pivke v tem rokavu smo začeli hkrati kot v Prestranku, vendar že ob naraščanju vode po dežju med 13. in 14.9.1988. V prvem vzorcu ob 12. uri še ni sledu uranina, v drugem ob 20. uri pa je že izdatna sled s koncentracijo $0,032 \text{ mg/m}^3$. Sled uranina se v naslednjih dneh, verjetno zaradi razredčenja, izgubi, zadnji dan vzorčevanja v Pivškem rokavu pa koncentracija uranina spet zraste (Sl. 8). Žal je bilo vzorčevanje Pivke v Planinski jami zaradi nepredvidenih ovir prekinjeno. Po izkušnjah o hitrosti pretakanja Pivke skozi Postojnsko jamo lahko domnevamo, da se je dne 18.9.1988 začel pojavljati v Pivškem rokavu obarvani val površinske Pivke. Najvišja koncentracija ob 22. uri je znašala $0,046 \text{ mg/m}^3$, kar pa najbrž še ni višek vala, ki bi ustrezal višku pri Prestranku, dne 16.9. ob 8. uri s koncentracijo $0,645 \text{ mg/m}^3$. Sicer lahko računamo z vsaj 10-kratnim znižanjem koncentracije ob sploščenju vala pri pretoku skozi postojnsko podzemlje.

Vodostaji Unice v Planinski jami nakazujejo postopno upadanje pretoka po nalivu v noči na 14.9.1988:

14.9.1988 ob 12^h H=3,20

16.9.1988 ob 14^h H=2,65

18.9.1988 ob 10^h H=2,43

Stržen pri Rakitniku

Po dežju v septembru smo pričakovali, da se bo iz požiralnika ob Strženu vrnil na površje del vlitega rodamina. Z vzorčevanjem Stržena pri mostu, dobrih 100 m od požiralnika, smo začeli ob naraščanju vode 14.9.1988. Namesto pričakovanega rodamina pa se je v Strženu pojavil uranin. Prva sled je zabeležena 15.9., naslednji dan je uranin izginil in se 17.9. znova pojavil. Višek je sledil 18.9. ob 8. uri, nato pa je val trajal do zadnjega dne prelivanja kraške vode iz Javornikov v Stržen.

Sočasne sledi uranina v Strženu in v površinski Pivki skušamo razložiti z vzporednim podzemeljskim tokom kraških voda med požiralnikom pri Trnju in izviri Stržena. Nekaj nižje koncentracije v Strženu je mogoče pojasniti z vmesnim razredčenjem z dotokom kraške vode. Preseneča pa skoraj sočasen pojav uranina v Strženu in v Pivškem rokavu Planinske jame, podobne pa so tudi koncentracije uranina. Domnevamo, da gre za vzporeden tok z glavnim tokom javorniških voda med Trnjem in Malni, ki je že pred dežjem skoraj dosegel Pivški rokav Planinske jame. Najbrž je ta tok ob naraslih vodah obarval tudi Stržen. Sočasen pojav uranina v različnih krajih je seveda mogoče pojasniti tudi drugače. Do zanesljivejših ugotovitev pa bi prišli le z večkratnim sledenjem v različnih hidroloških razmerah. Zveze, ki izhajajo iz sledenja v suhem poletju 1988, so prikazane na sliki 9, sočasen pojav uranina v različnih delih zaledja Unice pa na sliki 8.

UGOTOVLJENE ZVEZE STRŽENA PRI RAKITNIKU

Izvir Vipave

Rodamin se je pojavil v izvirih Vipave. S tem je dokazana presenetljiva zveza javorniških voda z vipavskimi, pojasnjen pa je tudi neuspeli poskus z uraninom leta 1982. Po vsej verjetnosti je uranin "ušel" naši kontroli, ker smo ga napačno pričakovali v izvirih Unice. Takrat še nismo niti pomislili, da se pod flišem Postojnske kotline pretakajo kraške vode iz Javornikov v Vipavo. Ta bifurkacija med črnomořskim in jadranskim porečjem je bila z drugim poskusom v Strženu leta 1988 prvič dokazana.

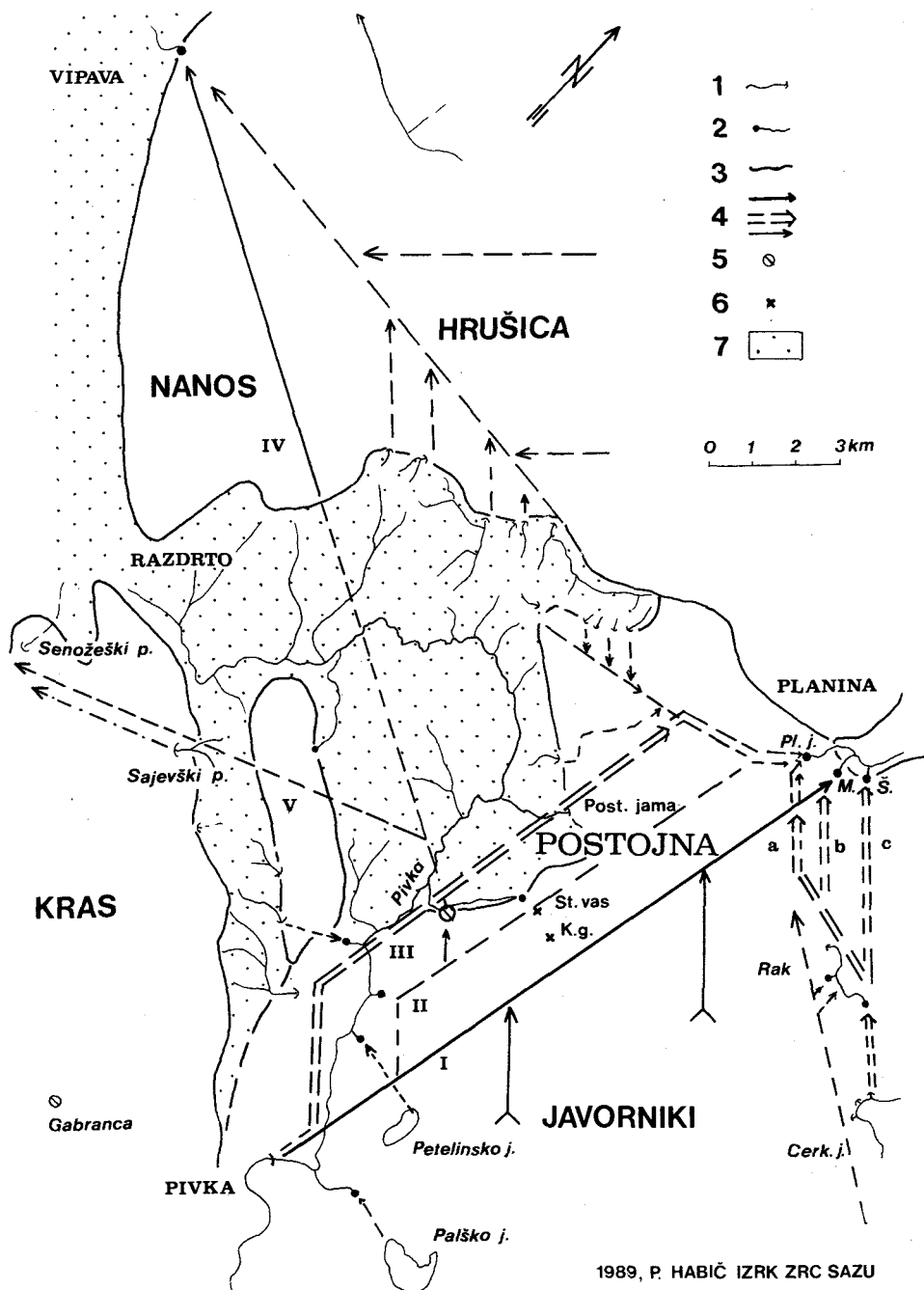
Čeprav smo zastavili opazovanja in zajemanja vzorcev v Bistrici in Vipavi, s to možnostjo nismo resno računali. Še vedno smo bili prepričani, da se vse vode iz Javornikov stekajo proti Malnom. Ker do konca septembra ni bilo še nikjer nobene sledi o rodaminu, smo že skoraj obupali. V takšnem razpoloženju smo se obrnili še na sodelavce ACEGA iz Trsta dr. F. Gemittija in M. Miliča s prošnjo, da nam posredujejo vzorce iz izvirov Timava. Ker smo za nekaj časa prenehali z vzorčevanjem Vipave, nimamo vzorcev za čas od 26.9. do 3.10. V zadnjem vzorcu z dne 15.9. ni bilo sledi rodamina, v vzorcu od 4.10. pa je rodamin že dosegel najvišjo znano koncentracijo in sicer $0,06 \text{ mg/m}^3$ (Sl. 8).

Slika 9 Shematični prikaz podzemeljskih zvez in mešanja voda v zaledju Unice in Vipave na podlagi sledenja v poletju 1988

1) požiralnik, 2) izvir, 3) meja med flišem in apnencem, rob polja, 4) podzemejske zveze, 5) estavela, 6) opazovana vrtina, 7) eocenski fliš

Fig.9 Schematic presentation of underground connections and water mixing in Unica and Vipava hinterland on the base of water tracing in Summer 1988

1) swallow-hole, 2) spring, 3) border between flysch and limestone, border of the polje, 4) underground connections, 5) estavela, 6) observed bore-hole, 7) Eocene flysch



V naslednjih dneh se je koncentracija znižala, po 20 dneh pa je spet nekoliko narasla in val je nato trajal vse do konca decembra. Domnevamo, da se je prvi val pojavil v zadnjih dneh septembra ali najkasneje 1. oktobra. Rodamin bi tako potreboval od Rakitnika do Vipave vsaj 50 dni ali 1200 ur, to je najmanj 20 dni več kot uranin do Planine. Navidezna hitrost 18 m/uro ali okrog 0,5 cm/s ni bistveno manjša.

Znižanja koncentracije rodamina v Vipavi med 7. in 16. 10. ustrezajo znižanim koncentracijam uranina v izvirih Unice. Tudi glede na trajanje jih lahko primerjamo z razredčenjem, ki je sledilo septembrskemu deževju. Drugi val rodamina v Vipavi po 16.10. lahko upravičeno primerjamo z drugim valom uranina v Unici. Podoben potek barvnega vala z nižjimi koncentracijami in večjo razvlečenostjo v smeri proti Vipavi kot proti Unici lahko z vso zanesljivostjo pripišemo podobnim hidrološkim razmeram ob postopnem praznjenju kraškega podzemlja v dolgem sušnem obdobju od poletja 1988 do začetka marca 1989. Navidez neugodne vodne razmere za sledenje so dale nekatere presenetljive podatke in dokaze, ki bi jih sicer v normalnih, srednjih in visokih vodah nikoli ne spoznali.

Izvir Timava

V vzorcih Timava, ki sta nam jih ljubeznivo posredovala dr. F. Gemitti in M. Milič v času od 30.9. do 15.11.1988, se nakajkrat pojavijo sledovi rodamina v zelo nizkih koncentracijah. Zaradi velike razredčenosti, saj so pretoki Timava v primerjavi z Vipavo desetkrat večji, več kot dvakrat je večja tudi razdalja od Rakitnika do Timava, je le občasna določitev sledila v Timavu razumljiva. Zanesljivo zvezo bi seveda dobili šele z daljšo sklenjeno krivuljo koncentracije.

Po izkušnjah s sledenjem Sajevškega potoka, Senožkega potoka in Raše v poletju 1987 (Habič, 1989) lahko tudi občasne sledove rodamina v izvirih Timava povezujemo s sledenjem Stržena. Prve sledi so zabeležene med 7. in 10.10., nato še 18. 10., 21. in 25.10 (Sl. 8). Te sledi se časovno skladajo s pojavi rodamina v Vipavi, kar govori v prid neposredne povezanosti Stržena z Vipavo in Timavom. Takšna zveza je možna tudi po geološki zgradbi, kakor jo je nakazal v svoji zadnji razpravi Gospodarič (1986), kjer nakazuje pod flišem možen stik apnencev treh različnih gradbenih enot: javorniške, nanoško-hrušiske in kopenske. Poleg dokazane zveze Sajevškega potoka lahko bogatijo vodnati Timav tudi javorniške vode. Zaledje Timava je po znanih podatkih veliko premajhno glede na njegovo minimalno izdatnost. Za okrog 9 m³ nizkih voda bi po minimalnem specifičnem odtoku 3 l/s/km², ki je značilen za kraško porečje Ljubljaničice, pričakovali kar 3.000 km² veliko zaledje. Po površinskih in hidrogeoloških razmerah pa mu lahko pripišemo le okrog 1.000 km². Ob tem se odpira dvojno vprašanje, ali ima zaledje Timava morda trikrat večji minimalni specifični odtok, ali pa odteka v Timav več vode iz neznanega zaledja.

Tabela 1: **Sledenje Pivke in Stržena** Pregled razdalj (D), časa (T), hitrosti (V), koncentracij (K) in razredčenosti (R)

Uranin – Pivka pri Trnju, vlitje 9.8.1988 ob 21. uri, 20 kg

	km ^D	h ^T	V ₁	V ₂	K mg/m ³	R x 10 ⁻¹²
Malni	15,3	681	0,62	0,50	0,900	45
Planinska jama	15,0	643	0,65	0,45	0,430	20
Pivka, Prestr.	5,0	852	0,16	0,15	0,645	30
Pivški rokav	15,0	852	0,48	0,45	0,032	16
Stržen	6,8	900	0,22	0,20	0,038	19

Rodamin – Stržen pri Rakitniku, vlitje 9.8.1988 ob 12.uri, 20 kg

	km ^D	h ^T	V ₁	V ₂	K mg/m ³	R x 10 ⁻¹²
Vipava	21	1200	(0,5)	0,44	0,60	3
Timav	47	1360	0,92	–	0,012	0,6

NIHANJE VODNE GLADINE V ZAHODNEM OBROBJU JAVORNIKOV

V razpravi o vodni gladini na Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije smo skušali na podlagi razpoložljivih speleoloških podatkov prikazati vodne razmere v zaledju Malnov in pod Javorniki (Habič, 1985). Nakazani so tudi nekateri problemi, ki so nas vodili k sklepnim ugotovitvi, da brez novih podatkov in dognanj lahko o razmerah v podzemlju le ugibamo.

Razpolagali smo s podatki o nihanju vodne gladine v vrtinah pri Stari vasi, Kobiljih grižah in Žejah. Zaradi napačno določene višine vrtine v Kobiljih grižah smo domnevali, da se ob srednjih vodah območje zgornje Pivke in zahodnega obrobja Javornikov prazni mimo Kobiljih griž proti Malnom. S to domnevo se niso v celoti skladale vodne razmere v vrtini pri Stari vasi. Ob nizkih vodah naj bi bila gladina nagnjena od Stare vasi proti Žejam in ne proti Malnom. Prav tako si nismo znali razložiti razlik ob visokih vodah med Staro vasjo in Kobiljimi grižami, saj bi normalno pričakovali, da pritekajo v Stržen vode iz okolice Kobiljih griž, gladina pa je bila, sodeč po višinah vode v vrtinah, nagnjena pod Javornike. To neskladje nas je prisililo, da smo naročili ponovno niveliranje vrtin v Stari vasi in v Kobiljih grižah. Po novi izmeri se je pokazalo, da je bila višina vrtine v Stari vasi pravilna, v Kobiljih grižah pa za 13,37 m prenizka.

S tem popravkom so postale razmere v pivškem obrobju Javornikov razumljivejše. V Kobiljih grižah je gladina stalno višja od gladine pri Stari vasi. Primerjava obeh gladin pri različnih vodnih razmerah nakazuje precej skladno nihanje, manjše razlike izhajajo najbrž iz lokalnih razlik v polnjenju in praznjenju krasa ob vrtinah.

Ob nižjih vodostajih je gladina nagnjena od Kobiljih griž in Stare vasi tudi proti Žejam.

Ta usmerjenost je sedaj lažje razumljiva, ko vemo, da se kras med Rakitnikom in Prestrankom ter Žejami prazni pod flišem Pivške kotline proti Vipavi.

Omenili smo že razlike v zniževanju gladine v posameznih vrtinah. Pri Žejah se zniža gladina v krasu za dobrih 20 m pod prelivni rob, pri Stari vasi le za 10 m, razlika v Kobiljih grižah pa znaša po nepopolnih podatkih ob najvišjih vodostajih za 15 do 20 m, v Matijevi jami na Palškem jezeru niha gladina za 40 m.

Za podrobnejše poznavanje hidroloških razmer v krasu ob zahodnem obrobju Javornikov kot tudi za opredelitev vpliva jadranskega porečja v krasu črnomskega povodja na Zgornji Pivki, bi morali sistematično meriti nihanje vodne gladine v nedostopnem podzemlju. V predelu med Pivko, Prestrankom in Rakitnikom, na Palškem in Petelinjskem jezeru, v Jerodovcih, pri Počku in še kje bi morali imeti piezometriške vrtine, opremljene z ustreznimi instrumenti. Koristna bi bila tudi strukturna vrtina v flišu pri Hruševju, ki bi poleg zgradbe lahko osvetlila tudi vodne razmere v skritem krasu pod flišem. Predlagane vrtine bi omogočale tudi preučevanje vplivov onesnaženja in njihovo širjenje od ponikalnic proti zajetjem. Pri varovanju tako pomembnega vodnega vira, kot so Malni, bo prej ali slej potrebna razvejana mreža kontrolnih točk po vsem zaledju in še posebej v najbolj ogroženih predelih.

Tabela 2: Primerjava vodnih gladin v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih grižah

Datum	Stara vas H_1	Kobilje griže H_2	$H_2 - H_1$
10/8-88	512,86	517,87	5,01
22/8-88	512,98	516,74	3,76
25/8-88	513,90	(517,41)	3,51
26/8-88	516,20	521,24	5,04
16/9-88	522,59	529,44	6,85
4/10-88	516,76	519,14	2,38
2/11-88	519,00	520,04	1,04
1/12-88	513,41	517,04	3,63
26/12-88	513,24	516,84	3,60
20/1-89	512,86	516,44	3,58
21/2-89	512,81	514,64	2,03
28/2-89	518,26		
7/3-89	521,87	527,64	5,77

ONESNAŽENOST PONIKALNIC NA PIVKI IN NJIHOV VPLIV NA ZAJETJA V MALNIH IN V VIPAVI

Vzorke za analizo onesnaženosti smo vzeli dan pred sledilnim poskusom. Predpostavljamo, da gre za enakomerno onesnaženost skozi celotno sušno obdobje, od julija 1988 do

marca 1989. V tabeli so prikazane koncentracije Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , KPK in BPK_5 voda iz kanalizacije Pivke, Stržena kot odvodnika delno očiščenih odplak iz Postojne in Slavenskega potoka, v katerega se steka del vaške gnojnice iz Slavine. S tem niso zajete vse kemične in biološke obremenitve podzemeljskih voda na območju Pivke, v Malne in Vipavo odteka še druga nesnaga.

Za primerjavo s podzemeljskimi vodami so prikazane koncentracije izbranih kationov v kraških podzemeljskih vodah Matijeve jame, Kobiljih griž in v vrtini pri Stari vasi. Razlike v kemični sestavi (Tabela 3) ne nakazujejo medsebojne povezanosti teh površinskih in podzemeljskih voda. Onesnažene ponikalnice neposredno ne vplivajo na kakovost podzemne vode v opazovanih jamah.

Nobenega dvoma pa ni, da so z omenjenimi ponikalnicami prispele v podzemlje znatne količine snovi, ki negativno vplivajo na kakovost pitne vode. V tabeli so prikazane skupne količine snovi, ki so jih vode v sušnem obdobju odnesle v podzemeljske žile, te pa, kot je dokazano z barvanjem, napajajo zajetja v Malnih in v Vipavi.

Tabela 3: **Kemijska sestava vode**

Vzorec	Datum	Cl^- mg/l	NO_3^- mg/l	PO_4^{3-} mg/l	SO_4^{2-} mg/l	KPK mg/l	BPK mg/l	5 O_2 mg/l
Stržen pri Ra-								
kitniku	8/8-88	42,3	7,4	14,6	41,6	29	25	10,5
Slavenski								
potok	8/8-88	36,4	8,3	7,3	20	128	5,0	3,8
Pivka, požir.								
pri Trnju	8/8-88	29,9	5,1	11,4	26	70	2,5	3,5
Matijeve								
jama	10/8-88	3,6	0,4	0,05	6,0			
	25/8-88	3,0	1,3	0,03	5,0			
Stara								
vas	10/8-88	3,0	0,3	0,05	5,7			
	23/8-88	6,0	0,6	0,04	6,4			
	25/8-88	6,0	0,5	0,03	7,0			
	26/8-88	4,0	0,6	0,03	7,0			
	2/11-88	2,2	0,4	0,04	5,3			
Kobilje								
griže	10/8-88	7,3	0,2	0,16	7,3			
	23/8-88	2,0	0,5	0,04	6,9			
	26/8-88	3,0	0,9	0,03	5,0			
	2/11-88	2,5	1,2	0,04	5,2			

Tabela 4: Trdote voda v Stari vasi, Kobiljih grižah in Matijevi jami

	T°C	S cm ⁻¹	h _m	Karb. mg CaCO ₃ /l	Kalc.	Celokup.
Stara vas						
22/8-88	11,5	420	0,37	213	215	224
2/11-88	9,8	370	6,39	200	211	225
1/12-88	8,9	414	0,80	208	221	227
26/12-88	9,3	401	0,63	208	211	219
20/1-89	9,1	410	0,25	216	217	223
21/2-89	9,0	405	0	208	220	223
7/3-89	9,5	385	9,26	173	174	180
Kobilje griže						
22/8-88	9,8	255	2,1	128	124	137
2/11-88	9,3	271	5,4	134	132	147
1/12-88	9,1	268	2,4	131	131	136
26/12-88	8,7	275	2,2	136	133	147
20/1-89	9,1	274	1,8	145	140	151
21/2-89	8,9	287	0	142	146	160
7/3-89	9,1	300	3,8	150	144	155
Matijeva jama						
18/1-89	8,2	396	0,4	212	212	219
21/2-89	7,9	387	0	206	194	218

Tabela 5: Skupna obremenitev podzemnih voda z odpadkami Pivke od julija 1988 do konca februarja 1989

Volumen vode	v m ³	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	KPK v kg
Stržen pri Rakitniku	26.000	1.000	200	380	1.000	750
Slavenski potok	40.000	1.500	330	290	800	5.000
Pivka pri Trnju	104.000	3.000	530	1.200	2.700	7.000
	107.000	5.500	1.060	1.870	4.500	12.000

Tabela 6: **Primerjava višin vodne gladine**

Datum	Žeje	Stara vas	Kobilje griže
22/2-82	515,03	513,61	517,34
23/2-82		513,41	517,0
25/2-82	509,43	513,37	516,94
9/3-82	509,10	513,02	514,69
11/3-82		515,8	517,9
12/3-82	510,03	516,9	519,0
15/3-82	513,53	516,6	617,5
31/3-82	529,88	521,97	
Datum	Stara vas	Kobilje griže	Matijeva jama
10/8-88	512,86	517,87	516,45
25/8-88	513,90	(518,5)	521,70
18/1-89	512,86	516,44	516,00
21/2-89	512,60	514,60	515,60

PREGLED UGOTOVITEV IN SKLEP

V razpravi so navedeni primeri raztekanja ali bifurkacije kraških voda v Sloveniji, ki so podobno kot drugod povezani z različnimi vzroki in posledicami. Poglavitni vzrok vsake kraške bifurkacije je prepustnost in zakraselost kamnin na različnih razvodjih. Ker so razvodja pogostejša na višjih predelih, so bifurkacije izrazitejše v visokem krasu, niso pa izključene tudi v nižjih kraških predelih, le da gre tam za manjša lokalna razvodja.

V hidrološkem pogledu ločimo predvsem dva tipa kraških bifurkacij. Prvi je povezan z raztekanjem voda v debelejši vadozni coni, kjer se v ožjem ali širšem pasu visokega krasa razteka prenikajoča deževnica v manjših ali večjih curkih, podobno kot tudi voda visečih ponikalnic, v dvoje ali več povodij ali porečij. K temu tipu prištevamo dokazane bifurkacije Hotenjke, Pikeljšice in Žejskega potoka v zaledju kraških izvirov Idrije in Ljublanice na jadransko črnemorskem razvodju (Hötl, Maurin, Zötl, 1976), ponikalnice na Vodica in Črnem vrhu nad Idrijo (Habič, 1987) in Čepovanskega potoka na Trnovsko-banjski planoti (Habič, 1982). V to skupino spadajo tudi dokazane bifurkacije v Severnoapneniških Alpah (Zötl, 1974). Pričakujemo pa lahko še več podobnih primerov v alpskem in dinarskem krasu Slovenije in Jugoslavije, ki doslej še niso bili preverjeni s sledilnimi poskusi.

Ugotavljanje širine bifurkacijskega pasu v visokem krasu oziroma v vadozni coni je precej zahtevna naloga. Pas je vsekakor širši v debelejši in homogeno zakraseli vadozni coni. Manjše ali večje, delne ali popolne hidrogeološke zapore zožujejo in prostorsko omejujejo raztekanje. Kjer s preučevanjem geološke zgradbe ni mogoče ugotoviti dejanskih hidrogeoloških

kih razmer, je možno le s postopnimi ali kombiniranimi sledilnimi poskusi omejiti razvodno območje. Šele tedaj je mogoče tudi oceniti hidrološki pomen posamezne bifurkacije glede na čas in količino raztekanja v eno ali drugo smer. V znanem razvodnem območju lažje določimo varovalne ukrepe za ohranitev količine in kakovosti vode pripadajočega vodnega vira. Kjer bifurkacijsko območje ni zanesljivo omejeno, je treba varovati širše zaledje.

Drugi tip kraške bifurkacije je vezan na poplavno ali epifreatično in stalno zalito ali freatično cono krasa. V teh conah se preliva voda iz enega v drug hidrografski sistem glede na prepustnost razvodnega območja in višino vodne gladine v njem. Prelivanje je v tem primeru možno na površju ali v podzemlju in v obeh predelih hkrati. Če gre za preliivanje zaradi različne prepustnosti, je lahko trajno, ali občasno. Kjer pa je preliivanje odvisno od višine vodne gladine, je časovno omejeno na krajša ali daljša razdobja v odvisnosti od padavinskega in siceršnjega vodnega režima. V ta tip kraške bifurkacije spadajo raztekanja na kraških poljih, na Cerkniškem, Ribniškem in drugod (Jenko, 1959). V to skupino lahko uvrstimo tudi raztekanje Donave (Zötl, 1974), pa tudi na novo dokazano bifurkacijo Pivke na jadransko črnemorskem razvodju.

Prvo bifurkacijo na Pivki pri Knežaku omenja že Jenko (1959), manjše bifurkacijsko območje na Pivki pri Belskem je opisal Habe (1976). V Biševcih pri Hruševju smo ugotovili visokovodno preliivanje iz Slavenskega krasa, ta sicer pripada zaledju Timava, kot je dokazano z barvanjem Sajevščice, v površinsko Nanoščico, ki s Pivko vred pripada črnemorskemu porečju. Četrto najboljše bifurkacijsko območje Pivke na jadransko črnemorskem razvodju pa je v predelu med Prestrankom in Rakitnikom, od koder del podzemeljskih voda odteka pod flišno Pivško kotlino v Vipavo in Timav, del pa v izvire Unice na Planinskem polju. Ta bifurkacija je bila prvič dokazana z barvanjem Pivke pri Trnju in Stržena pri Rakitniku s sušnem poletju 1988.

Sledilo uranin iz požiralnika v strugi Pivke pri Trnju se je najprej pojavilo v 15 km oddaljenem izviru Unice po 643 urah in 38 ur kasneje tudi v bližnjih izviri Malenščice v Malnih na Planinskem polju. Navidezna hitrost podzemeljskega toka znaša torej 0,65 in 0,62 cm/s. Sledilni poskus je bil izveden v začetku avgusta ob splošnem upadanju gladine podzemne vode. K pospešenemu odtoku sledila je pomagal dež v sredini avgusta, nato pa še drugi v sredini septembra, ki je z dotokom čiste vode in z razredčenjem prispeval k oblikovanju dvojnega vala in delnim preliivanjem podzemeljske Pivke na površje. Narasle vode so dodatno sprale sledilo iz ponornega območja, ki se je nato po drugih kanalih in delno celo po površju in skozi Postojnski jamski sistem prelilo v izvire Unice. Razlike v razporeditvi in koncentraciji uranina v drugem valu so povezane z razredčenjem zaradi dotoka kraških voda iz Javornikov in Cerknice. Pojav uranina ob drugem valu v površinski Pivki, v izviri Stržena in kasneje tudi v izviri Vipave dodatno osvetljuje način podzemeljskega pretakanja in kraško bifurkacijo na območju Pivke (Sliki 1,9).

Z barvanjem požiralnika Stržena pri Rakitniku je dokazano, da se znaten del zahodnega obrobja Javornikov in srednje doline Pivke, ki smo ga doslej v celoti pripisovali zaledju Unice, odceja proti Vipavi in morda tudi v izvire Timava. Po nagnjenosti vodne gladine v predelu

med Staro vasjo pri Postojni in Prestrankom, nihanje gladine smo opazovali v vrtinah pri Stari vasi, v Kobiljih grižah, pri Žejskih izvirih in v Matijevi jami na Palškem jezeru, upravičeno sklepamo, da se v Vipavo in z njo v Jadransko morje odtekajo tudi ponikalnice s fliša od Selc, mimo Slavine do Prestranka, ki sicer le ob visokih vodah dosežejo površinsko Pivko in z njo odtekajo v Črno morje. Ker se sledilo rodamin iz Stržena pri Rakitniku ni pojavilo v izvirih Unice, uranin iz požiralnika pri Trnju pa je dosegel Vipavo ob drugem vodnem valu, sklepamo, da se podzemlje okrog Prestranka hitreje prazni proti Vipavi, kar potrjuje tudi izdatno znižana gladina v vrtini pri Žejskih izvirih (Habič, 1985), območje Zgornje Pivke do Trnja pa je bolj usmerjeno v izvire Unice. S takim raztekanjem kraških voda na območju srednje Pivke, kjer jih ogrožajo industrijske in komunalne odplake, je treba računati pri varovanju obeh izvirov Vipave in Unice, ki sta že zajeta za vodno oskrbo.

Natančnejša opredelitev bifurkacijskega območja na zahodnem obrobju Javornikov bo možna le na podlagi podrobnejšega spremljanja nihanja vodne gladine in zaporednih sledilnih poskusov. Na splošno lahko sklenemo z ugotovitvijo, da zajemajo površinske in podzemeljske bifurkacije v poplavi in stalno zaliti coni razmeroma velika območja z zapletenimi vodnimi razmerami in količinsko različnim odtokom v eno ali drugo smer. Dokler režim raztekanja in drugi hidrološki problemi v zaledju vodnih virov niso razjasnjeni, je potrebno varovati celotno bifurkacijsko območje.

LITERATURA

- Avdagić, I., N. Preka, N. Preka-Lipold, 1976: Sodium chloride tracing of Pivka river underground flow. Papers 3rd Int. Symp. of Underground Water Tracing, 9-16, Ljubljana
- Bögli, A., 1978: Karsthydrographie und physische Speläologie. 1-292, Springer-Verlag, Berlin
- Fairbridge, R.W., 1968: The Encyclopaedia of Geomorphology. Dowden, Hutchison and Ross Inc., 1-1295, Stroudsburg, Pennsylvania
- Gams, I., 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. Acta carsologica, 4, 5-50, Ljubljana
- Gams, I., 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniškim in Planinskim poljem. Acta carsologica, 5, 171-187, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerkniškega jamskega sistema. Acta carsologica, 5, 109-169, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Acta carsologica, 7, 5-139, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1986: Vodnogospodarske osnove občine Postojna, 3. faza. ORS Postojna, 24 str, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Gospodarič, R., P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerkniškega polja. Acta carsologica, 8, 7-162, Ljubljana
- Gospodarič, R., F. Habe, P. Habič, 1970: Orehovški kras in izvir Korentana. Acta carsologica, 5, 97-108, Ljubljana
- Habe, F., 1963: Hidrološki problemi severnega roba Pivške kotline. Treči jugoslovanski speleološki kongres, 77-84, Sarajevo

- Habe, F., 1976: Morfološki, hidrografski in speleološki razvoj v studenskem flišnem zatoku. *Acta carsologica*, 7, 141-213, Ljubljana
- Habe, F., F. Hribar, 1964: Sajevoško polje. *Geografski vestnik*, 36(1964), 13-49, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1968: Kraško porečje Pivke in javorniški podzemeljski tok. Vodni viri za oskrbo Postojne. 50-101, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- ✓ Habič, P., 1969: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. *Naše jame*, 10(1968), 47-59, Ljubljana
- Habič, P., 1975: Pivka in njena kraška jezera. *Ljudje in kraji ob Pivki*, 1, 41-50, Postojna
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. *Acta carsologica*, 10, 45-73, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1983: Poročilo o barvanju požiralnika pri Rakitniku. 1-6, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1985: Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije. *Acta carsologica*, 13(1984), 37-48, Ljubljana
- Habič, P., 1986: Površinska razčlenjenost Dinarskega krasa. *Acta carsologica*, 14-15(1985-86), 39-58, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1987: Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljano. *Acta carsologica*, 16, 105-118, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1987 a: Raziskave kraških izvirov v Malnih pri Planini. 1-58, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1989: Sledenje v zaledju Timava. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Hötzl, H., V. Maurin, J. Zötl, 1976: Results of the Injection of Lycopodium Spores. *Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972-1975*, 167-181, Ljubljana
- Jenko, F., 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa. Državna založba Slovenije, 1-237, Ljubljana
- Jenko, F., 1959 a: Poročilo o novejših raziskavah podzemeljskih voda na Slovenskem krasu. *Acta carsologica*, 2, 209-227, Ljubljana
- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primeru Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9(1980), 128-148, Ljubljana
- Michler, I., 1955: Rakov rokav Planinske jame. *Acta carsologica*, 1, 73-90, Ljubljana
- Mihevc, A., 1984: Kačna jama. Deveti jugoslovanski speleološki kongres, Zbornik predavanja, 417-422, Zagreb
- Mlakar, J., 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. *Geologija*, 16, 317-334, Ljubljana
- Preka, N., N. Preka-Lipold, 1976: Prilog poznavanju autopurifikacione sposobnosti krških podzemnih vodnih tokova. *Hidrologija i vodno bogatstvo krša*, 577-584, Sarajevo
- Pleničar, M., 1959: Tektonski okni pri Knežaku. *Geologija*, 5, 5-10, Ljubljana
- Zötl, J.G., 1974: *Karsthydrogeologie*. 1 -391, Springer- Verlag, Wien - New York

PIVKA KARST BIFURCATION ON ADRIATIC – BLACK SEA WATERSHED

Summary

The examples of bifurcation of karst waters in Slovenia are listed in the treatise. The main reason of each karst bifurcation is permeability and karstificability of rocks on different watersheds. As the watersheds are usually in higher areas the bifurcations are more frequent in high karst, but they are not excluded in lower karst regions only that there the watersheds are local and smaller.

From hydrological point of view two types of karst bifurcation can be distinguished. The first one is connected to water flow in vadose zone where in narrow or wider belt of high karst the percolated rain water flows and the water of hanging sinking streams into two or more water basins. The proved bifurcations of Hotenjka, Pikeljšica and Žejski potok in the hinterland of Idrija and Ljubljana karst springs on Adriatic - Black Sea watershed (Hötzl, Maurin, Zötl, 1976), and the sinking streams on Vodice and in Črni vrh above Idrija (P.Habič, 1987) and Čepovanski potok on Trnovsko-banjška plateau (P.Habič, 1982) belong to this type. To the same group belong the proved bifurcations in Northern Limestone Alps (Zötl, 1974).

The second type of karst bifurcation is connected to epiphreatic and phreatic karst zone. In these zones the water flows from one into another hydrographic system depending on permeability of watershed area and altitude of water level in it. The flow in such case is possible on the surface and in the underground and in both areas at the same time. If the flow depends on different permeability it could be permanent or periodical. When the flow depends on altitude of water table it is temporally limited to shorter or longer periods dependent on precipitation and water regime. To this type of karst bifurcation belong the flows on karst poljes, on Cerknica, Ribnica and elsewhere (Jenko, 1959) and the Donau flow (Zötl, 1974) and now evidenced Pivka bifurcation to Adriatic and Black Sea watershed.

The first bifurcation of Pivka near Knežak was mentioned by Jenko (1959) already, smaller bifurcation area of Pivka near Belsko was described by Habe (1976). In Biščevci near Hruševje the high water table overflow from Slavenski karst, otherwise flowing through Classical Karst to Timavo springs was stated into superficial Nanoščica which belongs to Black Sea water basin together with Pivka. The fourth, the biggest bifurcation area of Pivka on Adriatic - Black Sea watershed lies in the region between Prestranek and Rakitnik, from where a part of underground waters flow under flysch Pivka basin towards Vipava and Timavo, and one part into Unica springs on Planinsko polje. This bifurcation was proved for the first time by Pivka tracing near Trnje and by Stržen near Rakitnik in the dry summer 1988.

The tracer uranine injected into swallow hole in the Pivka river bed near Trnje appeared in 15 km distant Unica spring after 643 hours and 38 hours later in near springs of Malenščica in Malni on Planinsko polje. The apparent velocity of the underground flow is 0.65 and 0.62 cm/s. The water tracing test was achieved in the beginning of August during general decrease of underground water level. The rain in the middle of August have helped the dye to accelerated runoff and the second rain in the middle of September adding pure water and dilution contributed to formation of double pulse and the underground Pivka partly appeared on the surface. The swollen waters additionally washed off the dye from the ponor area and through other channels and partly even on the surface and through the Postojnska jama system they have flown to Unica springs. The differences in uranine distribution and concentration in the second pulse are connected with dilution of additional karst waters from Javorniki

and Cerknica. The uranine appearance in the second pulse in the superficial Pivka, in Stržen springs and later in Vipava springs additionally enlighten the mode of underground runoff and karst bifurcation in the area of Pivka (Fig. 1, 9).

By Stržen tracing near Rakitnik swallow-hole was proved that a considerable part of western Javorniki Mt. border and central Pivka valley waters, which were till now contributed entirely to Unica hinterland, flow towards Vipava and partly into Timavo springs. According to inclination of water level in karst between Stara vas near Postojna and Prestranek, the water table oscillations were observed in bore-holes near Stara vas, in Kobilje griže and at springs of Žeje and in Matijeve jama on Palško lake (Fig.) we can duly infer that to Vipava and thus to Adriatic Sea the sinking streams from flysch at Selce, past Slavina to Prestranek are flowing, otherwise, at high waters only reach the superficial Pivka and flow with it towards the Black Sea. As the tracer rhodamine from Stržen near Rakitnik did not appear in the Unica springs, and the uranine from swallow-hole near Trnje has reached Vipava during the second pulse we infer that the underground around Prestranek evacuate towards Vipava more quickly. This is evidenced by abundant lowering of water level in the bore-hole near springs of Žeje (P.Habič, 1985). The area of Upper Pivka to Trnje is more oriented towards the Unica springs. With such overflow of karst waters in the area of central Pivka, which is endangered by industrial and communal waste waters we have to be aware protecting the both springs Vipava and Unica which are already caught for water supply.

The detailed definition of bifurcation area on the western Javorniki border would be possible on the base of exact observations of water level oscillations and by consecutive water tracing tests. In general we can conclude that the superficial and underground bifurcations in epiphreatic and phreatic zone comprise relatively big areas with complicated water conditions and different share of runoff to one or another direction. Protection measurements in such areas are successful only if we entirely know and consider the character, regime and extent of bifurcation.

PODZEMNE VODNE ZVEZE NA
PODROČJU ČIČARIJE IN
OSREDNJEGA DELA ISTRE

UNDERGROUND WATER CONNECTIONS IN ČIČARIJA
REGION AND IN MIDDLE ISTRIA

PRIMOŽ KRIVIC - MIHAEL BRICELJ -
MARTINA ZUPAN

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12/.13)

Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M.: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre (Slovenija, Hrvatska, NW Jugoslavija)

V dveh kombiniranih sledilnih poskusih v letih 1986 in 1987, vsakič so bile obarvane tri ponikalnice s tremi različnimi sledili (uraninom, rodaminom in bakterifagi), so bile ugotovljene razvodnice med izvirom Rižane in izviri ob Kvarnerskem zalivu ter izviri v porečju Mirne. Površina varstvenih pasov za zaščito kvalitete podtalnice izvira Rižane, določena na osnovi večletnih hidrogeoloških raziskav, znaša 237 km².

Ključne besede: sledenje voda, varstveni pasovi, Čičarija, Istra, Slovenija, Hrvatska

UDK 556.34.04(497.12/.13)

Abstract

Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M.: Underground water connections in Čičarija region and in Middle Istria (Slovenia, Croatia, NW Yugoslavia)

In the years 1986 and 1987 six sinking brooks were traced with bacteriophages, uranine and rhodamine dye, to prove the connections with the spring of Rižana river, with the springs on the rim of the Kvarner Bay on the Adriatic Sea and with the springs in Mirna river valley. According to the results of several years of hydrogeological investigations, 237 sq. km groundwater quality protection areas of the Rižana spring were determined.

Key words: water tracing, protection areas, Čičarija, Istria, Slovenia, Croatia

Naslov - Address

dr. Primož Krivic, dipl.ing.geol.

Geološki zavod Ljubljana

YU - 61000 Ljubljana, Dimičeva 16

mag. Mihael Bricelj, dipl.biol.

Inštitut za biologijo Univerze Edvarda Kardelja

YU - 61000 Ljubljana, Aškerčeva 12

Martina Zupan, dipl.ing.kem.

Hidrometeorološki zavod SR Slovenije

YU - 61000 Ljubljana, Vojkova 1b

UVOD

Podzemeljske vodne zveze v Istri in Slovenskem Primorju so že od nekdaj vzbujale zanimanje. Številni potoki in reke z neprepustnega flišnega površja na stiku s prepustnimi in zakraselimi apnenci izginjajo v podzemlju in ljudje so se vedno spraševali, kje pridejo te vode zopet na dan, ali v katerem izmed kraških izvirov ali pa kar v morju. Dokazov za posamezne povezave pa, razen ljudskega izročila v obliki pripovedk, ki jih srečamo povsod na krasu, ni bilo in tudi možnosti za njihovo potrditev ne.

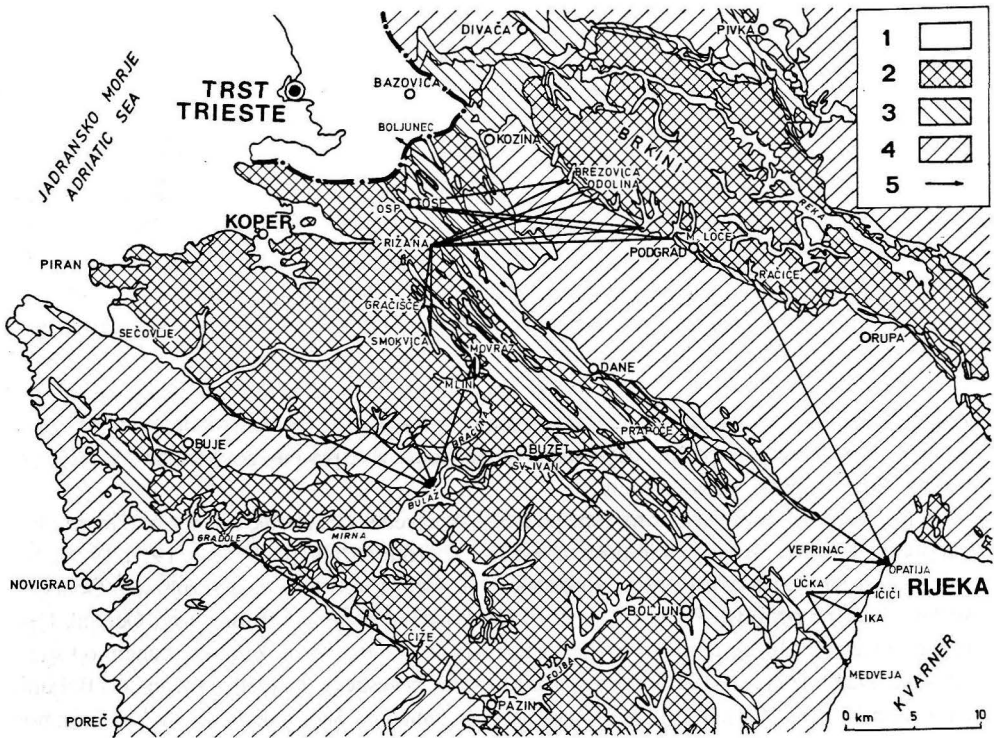
Že znani pisatelj Jules Verne opisuje neuspeli sledilni poizkus med ponikalnico Fojbo pri Pazinu in izviri v Limskem kanalu in kako naj bi kasneje to povezavo ugotovili (J.Verne, 1885). Ali je bil sledilni poskus dejansko izveden, ali pa je le plod njegove bujne domišljije, pa najbrž ne bo mogoče nikoli izvedeti.

Prvi pravi sledilni poskus na tem področju je izvedel G.Timeus, ko je z uraninom obarval potok Brašnico pri Odolini in dokazal zvezo z izvirom Rižane (G.Timeus, 1910, 1928).

Kasnejša sledenja brkinskih ponikalnic (N.Čadež, 1963) niso dala rezultatov. Obarvane so bile Račiške ponikve, Perilo pri Obrovu (Jezerina) in ponovno Brašnica pri Odolini. Uporabljeno barvilo (40 kg uranina in obarvani trosi) pa ni bilo ugotovljeno v nobenem od številnih opazovanih izvirov od Kvarnerskega zaliva, prek hrvaškega dela Istre, Rižane do Boljuna na italijanski strani meje pri Trstu. Barvanje ponikalnice pri Slovenskem Gračišču z uraninom leta 1960 (ustni podatek P.Štefanciča) in ponovno barvanje leta 1961 (N.Čadež, Arhiv JMZ) s 7 kg uranina, tudi nista dokazali zveze z nobenim od opazovanih izvirov (Rižana, Rakovec, Gaber, Mlini).

Geološki zavod Zagreb in Inštitut "Ruđer Bošković" sta izvajala sledenja na področju Čičarije, v letu 1977 v predoru skozi Učko (S.Božičević, V.Goatti, 1987), pri Veprincu nad Opatijo v letu 1986 in v ponoru Prapoče pri Lanišču (slika 1). V prvih dveh primerih se je z uraninom obarvana voda pojavila v obalnih izvirih Kvarnerskega zaliva: med Ičići in Medvejo, oziroma v izvirih pod hoteloma Admiral in Kristal v Opatiji. V tretjem primeru pa je sledenje s tritijem dokazalo zvezo z izvirom Sv.Ivan pri Buzetu. V zaledju izvira Bulaž (Sv.Stjepan) pri Istrskih Toplicah so bili izvedeni sledilni poizkusi s tritijem in uraninom ponikalnic v dolini Zrenj (Mlaka), Oprtalska draga (Pregon) in Pašudija (Jugovski potok) in s tem ugotovljeno padavinsko zaledje tega izvira (A.Magdalena in drugi, 1987). Prav tako je bila z uraninom in tritijem v letih 1968, 1976 in 1988 dokazana zveza ponora Čiže z izviri Gradole na levem bregu Mirne.

V okviru študija padavinskega zaledja izvira Rižane (slika 2) in za določitev varstvenih pasov tega pomembnega vodnega vira, sta bili v letu 1985 v okviru kombiniranega sledilnega poizkusa istočasno obarvani ponikalnici Ločica pri Brezovici in Male Loče v Matarskem podolju in ponikalnici pri Gračišču in pod Lukini (Smokavska vala) v Čičariji, vsaka z drugim sledi-



Sl.1 Geološka karta osrednjega dela Istre

1 - aluvij, 2 - eocenski fliš, 3 - paleogenski apnenci, 4 - kredni apnenci, 5 - s sledenjem dokazane podzemne zveze

Fig.1 Geological map of Middle Istria

1 - alluvion, 2 - Eocene flysch, 3 - Paleogene limestones, 4 - Cretaceous limestones, 5 - underground water connections proved by tracing

lom. Z uraninom obarvana voda iz Brezovice se je že po 4,5 dneh pojavila na vrtini R-6 in na izviru Rižane. Barvilo rodamin iz Gračišča je prišlo do izvira Rižane po 6,5 dneh. Bakteriofagi iz Smokavske vane so bili z gotovostjo ugotovljeni v izviru Rižane prvič po 10,5 dneh, v močni koncentraciji po 14 dneh, le sledovi sledila pa so bili ugotovljeni tudi v Mlinih (Sušec, Sopot) in v izviru Sv.Ivan pri Buzetu. Sledilo KCl iz ponikalnice Male Loče ni bilo ugotovljeno v nobenem od opazovanih izvirov (P.Krivic in drugi, 1987). S tem smo dobili prve podatke o napajalnem področju izvira in določili okvirni obseg varstvenih pasov, katerih skupna površina je po prvi verziji znašala 183 km² (P.Krivic, 1986), pokazalo pa se je, da je potrebno natančno določiti razvodnice na vzhodni in južni strani padavinskega zaledja, to je na področju Matar-

skega podolja in v Čičariji. Tako je bila glavna naloga v drugi in tretji fazi sledilnih poskusov določitev razvodnic med Kvarnerskim zalivom, porečjem Mirne s pritoki in Rižano. Sledilne poskuse je vodil P.Krivic, analize fluorescentnih sledil je opravila M.Zupan, analize bakteriofagov pa M.Bricelj in M.Šiško.



Sl.2 Izvir Rižane

Fig.2 Spring of Rižana river

SLEDILNI POIZKUSI V LETIH 1986-1987

V maju 1986 smo izvedli sledenje treh ponikalnic v Matarskem podolju in sicer v Hotični, Malih Ločah in Jezerini. V maju 1987 pa so bile obarvane ponikalnice pri Movražu, Račiške ponikve in Dane pri Vodichah. V obeh primerih smo uporabili sledila uranin, rodamin in bakteriofage.

Sledenje v hotični, jezerini in malih ločah

V sledilnem poskusu druge faze raziskav smo sledila injicirali v tri ponikalnice: Hotiški potok, Jezerino in Male Loče. V slepo dolino Jezerine pri Obrovu dotekata dva vodotoka. Za injiciranje smo določili zahodno ponikalnico imenovano Pogoran ter kot sledilo izbrali fluore-

scenčno barvilo rodamin v količini 20 kg. Drugo injicirno mesto je bilo v območju Ločkih ponikev pri Malih Ločah, kjer ponikuje potok Velika voda. Za sledilo smo izbrali fluorescenčno barvilo uranin v količini 20 kg. Ponor Hotiškega potoka pri Hotični je bil določen za sledenje z bakteriofagi.

Lokacije in program vzorčevanj

Določili smo sledečih osem mest za vzorčevanje, katerih položaj podajamo na sliki 10.

- Rižana–vodarna
- Osapska reka – Osp
- izvir Ara – Mlini
- pritok Bračane – Mlini
- izvir Sv.Ivan – Buzet (zajet je za istrski vodovod)
- izvir pod hotelom Kristal – Opatija
- izvir pod hotelom Admiral – Opatija
- izvir v Medveji – avtokamp

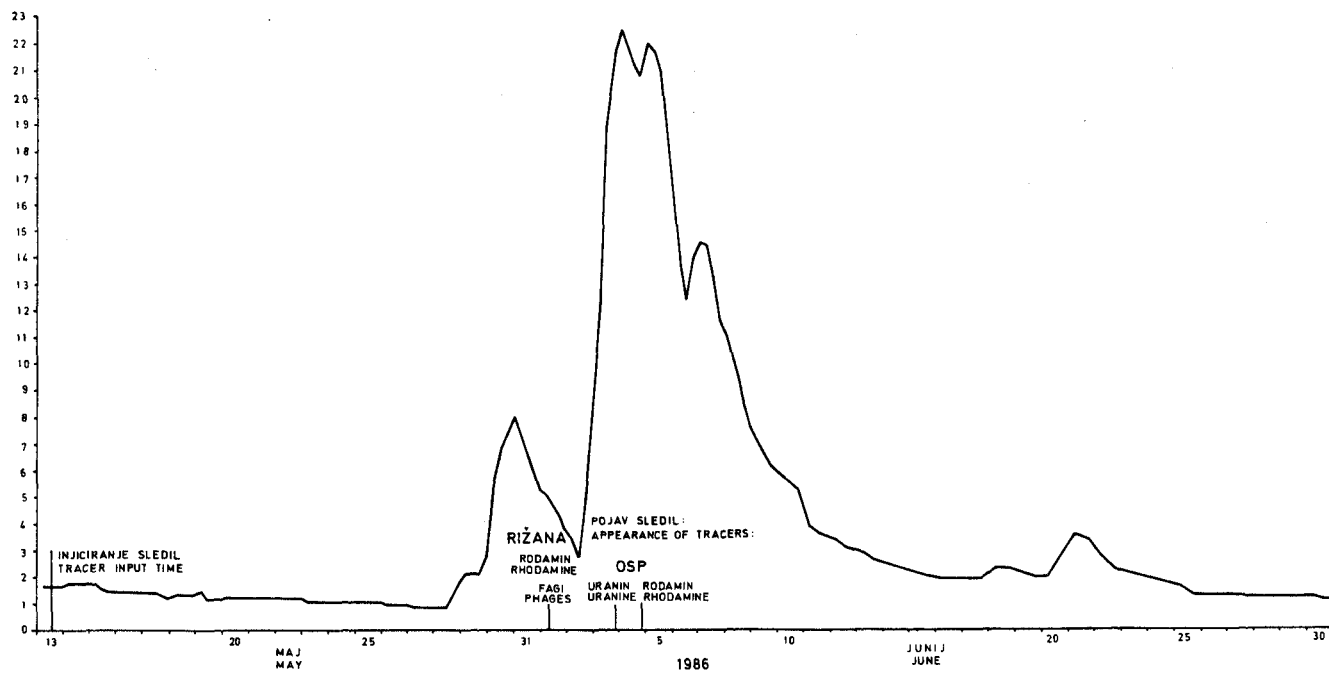
Vzorčevanje se je začelo 13.maja 1986 in je trajalo do avgusta 1986. V začetni fazi sledilnega poskusa je bilo predvideno vzorčevanje na izviru Rižane 4 x dnevno, na izviri Osapske reke v času aktivnosti izvira 3 x dnevno in na izviri v Opatiji in Medveji 1 x dnevno. Program vzorčevanj naj bi med sledilnim poskusom prilagajali rezultatom orientacijskih analiz vzorcev.

Hidrometrične meritve

Reprezentativna postaja za določitev pretokov v času sledenja (slika 3) je bila vodomerska postaja Rižana – Kubed, ki je opremljena z limnigrafom. Hidrometrične meritve smo izvedli na nizu ponikalnic v Matarskem podolju od Ločice v Brezovici do ponikalnice Golobnjak pri Hrušici. Dnevna opazovanja vodostajev smo organizirali na profilih Ločica–Brezovica, Velika voda–Male Loče, ter na pritoku Bračane v Mlinih, kjer smo tudi izvajali hidrometrične meritve.

Injiciranje sledil

Vsa tri sledila, bakteriofagi, rodamin in uranin so, po predhodni pripravi, istočasno injicirana v izbrane ponore, dne 13.maja 1986 od 13. uri. Injiciranje fagnega sledila je bilo izvedeno pri vходу v ponor Hotiškega potoka na nadmorski višini 530 m. Potok je imel v času injiciranja pretok 8 l/sek. V desetih sekundah smo v ponor zlili 17550 ml fagne juhe s skupnim titrom $4,1 \cdot 10^{14}$ pfe.



Sl.3 Hidrogram Rižane v času sledilnega poskusa

Fig.3 Hydrograph of Rižana river during tracing test

Na območju slepe doline Jezerine pri Obrovu, ki se nahaja na 500–520 m n.m. smo obarvali zahodni potok Pogoran. Dvajset kilogramov sledila rodamin smo predhodno suspenzirali v 2 posodah s skupno 70 l vode. Barvilo smo vlivali v strugo potoka 10 m nad zalitim ponorom, ki se nahaja na začetku niza ponorov na tem območju. Pretok vode je bil v času injiciranja merjen 200 m gorvodno od injicirnega mesta in je znašal 81 l/s.

Pretok sosednje ponikalnice Gabrški potok (Perilo) je v času injiciranja znašal 75 l/s.

Na območju Ločkih ponikev, kjer pri naselju Male Loče ponika Velika voda na 500 m n.m. smo uporabili sledilo uranin. Dvajset kilogramov uranina smo predhodno dobro premešali v 80 l vode. Suspenzijo smo vlili v prvi ponor na začetku niza ponorov, kjer je ponikala vsa voda. Pretok Velike vode je v času injiciranja znašal v vodomerskem profilu pri mostu 79 l/s.

Analiza sledil

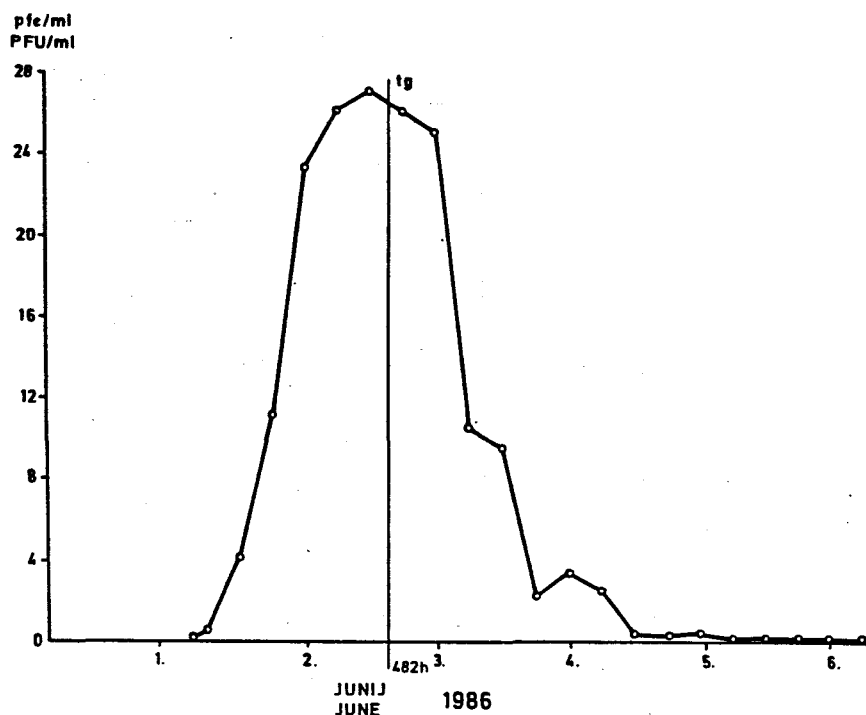
Vsebnost in koncentracije fluorescenčnih barvil v 864 vzorcih vode izvirov smo določali na fluorescenčnem spektrofotometru Perkin Elmer 204. Merili smo z metodo konstantne razlike med ekscitacijsko in emisijsko valovno dolžino – 25 nm. Meja določljivosti je bila za uranin 0,004 ppm in za rodamin 0,008 ppm (Behrens, 1973).

Količino bakteriofagov oziroma plak formirajočih enot (=pfe) smo določevali z dvema metodama in sicer z metodo agarskega preliva in z MPN metodo ali metodo določanja najbolj verjetnega števila. Meja detekcije metode agarskega preliva pri uporabi 5 x 1 ml vzorca je 0,2 Pfe/ml, kar pomeni 1 razjednina na pet uporabljenih ploščah. Meja detekcije MPN metode je pri uporabljeni količini 3 x 10 ml, 1 x 1 ml in 1 x 0,1 ml vzorca pri 6 Pfe/100 ml vzorca, kar pomeni, da smo zasledili prisoten bakteriofag le v enem 10 ml vzorcu. Pri tem moramo omeniti, da 6 Pfe/100 mililitrov ne moremo dokazati z metodo direktnega agarskega preliva.

Rezultati analiz bakteriofagov

Z vzorčnega mesta Rižana smo obdelali 140 vzorcev z obema zgoraj omenjenima metodama. Prvi pozitivni rezultat smo dobili z obema metodama na vzorcu z dne 1. junija ob 6^h. Nato smo v obdobju pojavljanja bakteriofagov v vzorcih vzorce obdelovali samo z metodo agarskega preliva, pri kateri lahko zračunamo Pfe v mililitru vzorca. Maksimalno ali gornjo vrednost smo opazili v vzorcu dne 2. junija ob 12^h in sicer smo določili 27,6 Pfe v mililitru. Od tedaj pa do 6. junija ob 6^h je količina fagov v vzorcih padala in dosegla 6. junija ob 12^h ničelno vrednost, katero smo nato lahko določili v vseh vzorcih do konca vzorčevanja. Iz dobljenih pozitivnih rezultatov z metodo agarskega preliva smo sestavili sledilno krivuljo, ki jo predstavlja slika 4. Analize vzorcev na bakteriofage iz vseh ostalih izvirov pa so bile negativne.

Ker smo imeli prejšnje leto precej majhno vrednost v količini povrnjenih bakteriofagov (P. Krivic in drugi, 1987), smo tokrat v vzorce vode potoka Hotična, reke Rižane in ostalih izvirov dodali znane količine bakteriofaga in inkubirali v jamskem laboratoriju v temi pri temperaturi 14° C. Ko smo na Rižani dosegli ničelno vrednost sledilne krivulje, smo določili



Sl.4 Časovni potek koncentracij bakteriofagov iz Hotične v izviru Rižane

Fig.4 Concentration curve of bacteriophages in the Rižana spring injected in Hotična

tudi količino bakteriofagov v vzorcih vode iz jamskega laboratorija. Pri tem se je količina bakteriofagov v vzorcu vode iz potoka Hotična zmanjšala z $2,2 \times 10^9$ na $1,9 \times 10^8$ pfe v mililitru vzorca. Količina pfe v vzorcu vode iz Rižane pa je padla z $2,2 \times 10^9$ na $3,0 \times 10^8$. Iz teh rezultatov smo izračunali faktor znižanja količine bakteriofagov, ki je v primeru potoka Hotična 11,57 (f_1) in v primeru Rižane 7,3 (f_2).

Z znano težišnico vala in faktorji zmanjšanja količine bakteriofagov v vzorcu smo izračunali po empirični formuli potrebno količino bakteriofagov:

$$P_{\text{mark}} = a \times t \times Q$$

pri čemer pomeni

- P_{mark} – število bakteriofagov, potrebnih za sledilni poskus (pfe)
- a – faktor z vrednostjo: v primeru $f_1 = 11,57$ in v primeru $f_2 = 7,3$
- t – ocenjeni čas do pojava sledila v vzorcu (vrednost težišnice vala) v s
- Q – pretok v m^3/s

Po zgornji formuli smo v primeru upoštevanja f_1 izračunali potrebno količino bakteriofaga kot $4,7 \times 10^{13}$ pfe in v primeru uporabe f_2 dobili potrebno količino $2,9 \times 10^{13}$ pfe. Ker

smo v našem poskusu uporabili bakteriofagno juho s skupnim titrom $4,1 \times 10^{14}$ pfe, lahko zaključimo, da je bila uporabljena količina bakteriofagov dovolj velika za uspešno sledenje.

Rezultati analiz fluorescenčnih barvil

V vseh vzorcih smo analizirali vsebnost fluorescenčnih barvil uranin in rodamin. Barvilo uranin smo v različnih koncentracijah določili v vseh izviri v razponih koncentracij, ki jih podajamo v tabeli 1.

TABELA 1: Minimalne in maksimalne koncentracije uranina ter koncentracija uranina v slepih vzorcih

Izviri	Minimalna in maks. koncentr.uranina (mg/m ³)	Koncentracija uranina v slepih vzorc. (mg/m ³)	Število slepih vzorcev
Rižana–vodarna	0,004 – 0,018	<0,004 – 0,008	(6)
Osapska r.–Osp	0,005 – 0,022	<0,004	(1)
Ara – Mlini	0,004 – 0,009	<0,004	(3)
Pritok Bračane–Mlini	0,004 – 0,010	<0,004	(3)
Sv.Ivan–vodarna	0,004 – 0,010	<0,004	(2)
Opatija–Admiral	0,004 – 1,42	<0,004	(1)
Opatija–Kristal	0,004 – 1,83	<0,004	(1)
Medveja–kamp	0,005 – 0,018	<0,004	(1)

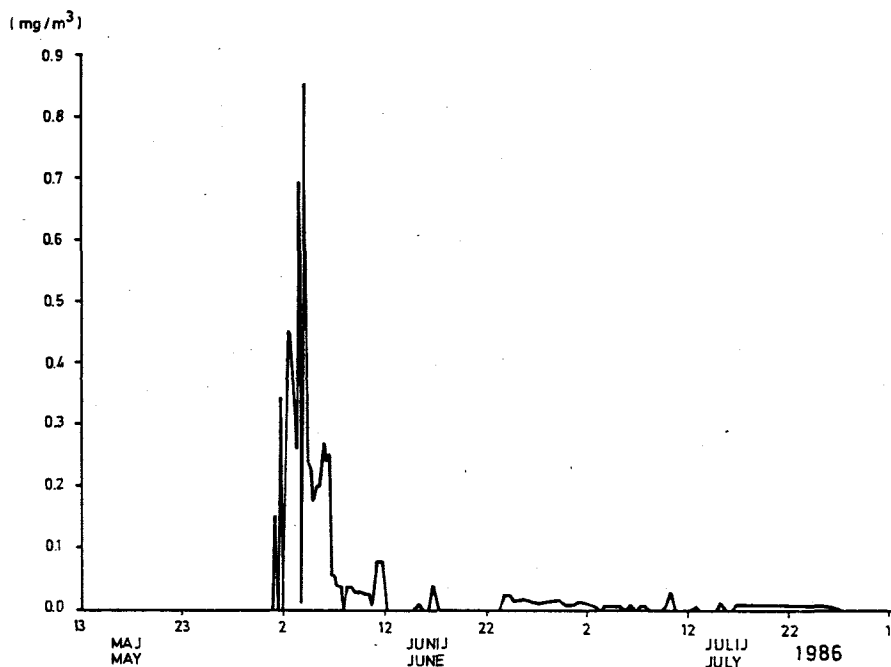
Visoke koncentracije uranina, ki smo jih izmerili v izviri ob kvarnerski obali izvirajo iz sledilnega poskusa, ki je bil istočasno izveden na področju Veprinca nad Opatijo. V izviru Rižane je uranin prisoten skoraj v vseh vzorcih, tudi slepih.

Maksimalne izmerjene koncentracije, razen na Rižani, so razmeroma nizke ter se pojavljajo nekontinuirano. Zaradi tega je težko z gotovostjo trditi, da izvirajo iz inžicirnih mest. Vendar pa z ozirom na sovpadanje pojavov sledil in padavin obstoja možnost povezave ob višjih vodah. Zaradi ponavljajočih se sledilnih poskusov na tem območju je prav občasno pojavljanje sledil v manjših koncentracijah lahko posledica prelivanja podzemnih voda ob višjih vodnih stanjih izven direktni povezav. Te manjše koncentracije barvil so lahko tudi ostanki prejšnjih sledilnih poskusov. Še najbolj prepričljiv je pojav uranina v izviru Osapske reke, kjer se je barvilo prvič pojavilo po 511 urah in doseglo maksimalno koncentracijo 1,83 mg/m³ po 577 urah. Koncentracije so sicer nizke, vendar so se pojavljale zvezno, kar je razvidno iz kriulje časovnega poteka koncentracij (slika 6).

Barvilo rodamin se je v višjih koncentracijah, ki jih lahko smatramo kot dovolj visoke za dokaz podzemeljske vodne zveze s ponorom Jezerine pojavilo v izviri Rižane in Osapske reke. Barvilo se je v obeh izviri pojavilo šele po deževju konec maja in v začetku junija.

TABELA 2: Minimalne in maksimalne koncentracije rodamina ter koncentracija rodamina v slepih vzorcih

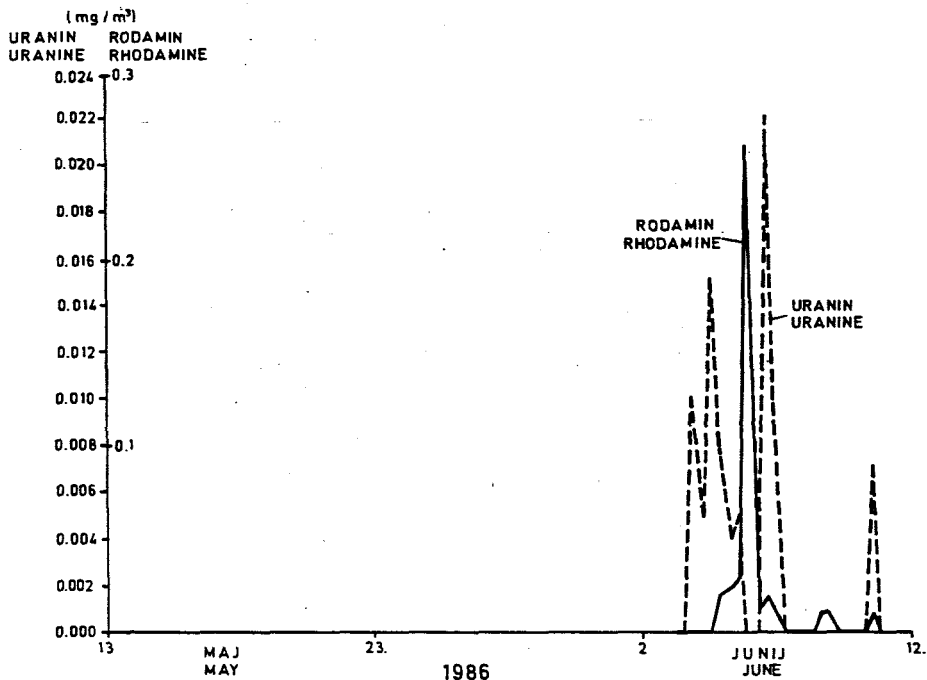
Izviri	Minimalna in maks. koncentr.rodamina (mg/m ³)	Koncentracija rodamina v slepih vzorc. (mg/m ³)	Število slepih vzorcev
Rižana–vodarna	0,008 – 0,850	<0,008	(4)
Osapska r.–Osp	0,010 – 0,260	<0,008	(1)
Ara – Mlini	0,008 – 0,010	<0,008	(3)
Pritok Bračane–Mlini	0,008 – 0,020	<0,008	(3)
Sv.Ivan–vodarna	0,008 – 0,030	<0,008	(3)
Opatija–Admiral	0,008 – 0,018	<0,008	(1)
Opatija–Kristal	0,008 – 0,010	<0,008	(1)
Medveja–kamp	0,008 – 0,020	<0,008	(1)



Sl.5 Krivulja koncentracij rodamina iz Jezerin v izviru Rižane

Fig.5 Concentration curve of rhodamine injected in Jezerina swallow-hole as appeared in Rižana spring

Krivulja je še posebno v izviru Rižane pulzirajoča in značilna za povezave, ki nastopijo ob prekoračitvi določenega nivoja vode v podzemlju (slika 5,6).



Sl.6 Časovni potek koncentracij uranina iz Malih Loč in rodamina iz Jezerine v Ospu

Fig.6 Concentration and temporal distribution of uranine from Male Loče and rhodamine from Jezerina as appeared in Osp

V ostalih izviri se je rodamin pojavil nezvezno in v nizkih koncentracijah. Za te pojave velja isto kot smo že povedali pri uraninu. Lahko so posledica ponavljajočih se sledilnih poskusov, zastajanja barvila v podzemlju in s tem razredčenja barvila. Pri sledilnem poskusu leta 1985 nismo ugotavljali tolikšnih pojavljanj rodamina in uranina v opazovanih izviri in lahko sklepamo, da izmerjene koncentracije ne izvirajo iz ozadja, temveč ta barvila izvirajo iz prejšnjih sledilnih poskusov.

Izračun količin povrnjenih sledil in hitrosti pretakanja

Izračun količine povrnjenega sledila smo izdelali za izvire, na katerih smo poleg analiz vzorcev določili tudi časovni potek pretokov: Rižana – v.p. Kubed, Osapska reka – Osp ter pritok Bračane – Mlini.

V izviri Rižane se je 1. junija 1986 z gotovostjo pojavilo barvilo rodamin, injicirano v ponikalnico Pogoran – Jezerina. Do tega dne se sledilo v analiziranih vzorcih ne pojavlja niti v sledovih na meji detekcije, tako da je časovni potek koncentracij sledila jasno izražen. Sledilo

se je pojavilo po 440 urah in se je, ob upoštevanju prvega pojava, pretakalo s hitrostjo 35 m/h. Maksimalna koncentracija sledila je nastopila 515 ur po injiciranju, hitrost ob upoštevanju maksimalne koncentracije je 30 m/h. Od prvega pojava sledila do 7. junija je v izvir Rižane z vodnim valom pritekla glavina (1952 g) celotne količine povrnjenega barvila. Do zadnjega zajetega vzorca 30. julija 1986 znaša skupna količina povrnjenega injiciranega sledila rodamina 2129 g oziroma 10,6% v ponor injicirane količine.

Izračun količine povrnjenega barvila v izviru Rižane je narejen tudi za uranin, injiciran v ponor v Malih Ločah. Vendar pa ne moremo trditi, da so izmerjene koncentracije in izračunana količina povrnjenega sledila dokaz za povezavo med tem ponorom in izvirom Rižane. Uranin je v nižjih koncentracijah prisoten skoraj v vseh vzorcih Rižane. Zaradi visokega ozadja in nizkih maksimalnih koncentracij ni mogoče določiti časa prvega pojava sledila, injiciranega v Malih Ločah. Po izračunu količine povrnjenega barvila je do 1. junija povrnjenega 7,6 g barvila, do 12. junija pa zaradi visokih pretokov še 30 g. Do konca vzorčevanja izračunana količina povrnjenega barvila doseže 51,2 g. Predpostavljamo, da se v Malih Ločah injicirano barvilo uranin ne bi pojavilo veliko prej kot sledilo rodamin, injicirano v Jezerinah, ki so bližje izvirom Rižane. Zato lahko izračunano količino povrnjenega barvila, do 1. junija 7,6 g, od celotne izračunane količine 51,2 g odštejemo. Pri interpretaciji rezultatov smo zato upoštevali 43,6 g povrnjene količine uranina. V kolikor bi pri izračunu upoštevali za ozadje srednjo koncentracijo slepih vzorcev $0,006 \text{ mg/m}^3$ kot ničelno vrednost, bi dobili le 4 do 5 g povrnjenega sledila uranin v izviri Rižane.

V profilu Osapske reke v Ospu sta se obe fluorescenčni barvili pojavili v vodnem valu, ki je nastopil 3. junija 1986. Naravno ozadje obeh barvil v Osapski reki je pod mejo določljivosti, zato je kljub nizkim maksimalnim koncentracijam pojav obeh sledil v zaporednih vzorcih izrazit. Zato smatramo povezavo Osapske reke s ponori v Malih Ločah in Jezerinah za zelo verjetno.

Pojav rodamina je izrazitejši. Izmerili smo ga v 7 zaporednih vzorcih od 4. junija ob 20⁰⁰ do 6. junija 1986 ob 20³⁰ in je v tem času povrnjena količina rodamina 48,3 g. Do konca vzorčevanj oziroma aktivnosti izvira 11. junija pa je skupno povrnjenega 49 g rodamina oziroma 0,25% injicirane količine. Ob upoštevanju prvega pojava barvila (535 ur po injiciranju) je sledilo dotekalo v izvir s hitrostjo 32 m/h, oziroma ob upoštevanju maksimalne koncentracije (po 559 urah) je bila hitrost pretakanja 30 m/h.

Sledilo uranin se je v Osapski reki pojavilo že na začetku vodnega vala. Z ozirom na razdalje med ponori in izvirom je presenetljivo, da se je uranin v izviru pojavil pred rodaminom. Hitrost pretakanja uranina ob upoštevanju prvega pojava uranina (511,5 ur po injiciranju) je znašala 33 m/h. V prvih šestih pozitivnih vzorcih znaša količina povrnjenega uranina 14,5 g, do usahnjenja izvira 11. junija pa se je povrnilo skupno 16,7 g uranina oziroma 0,08% injicirane količine.

Količine povrnjenega barvila smo izračunali tudi za pritok Bračane v Mlinih, vendar so količine povrnjenih barvil tako uranina (1,029 g) kot rodamina (0,453 g) minimalne, oziroma 0,005% ter 0,002% injiciranih količin barvil. Najvišje koncentracije uranina ($0,01 \text{ mg/m}^3$) in

rodamina ($0,02 \text{ mg/m}^3$) so izmerjene še pred nastopom vodnega vala. Uranin in rodamin se pojavita v vzorcih prvič 264 ur po injiciranju in ker sta obe injicirni mesti od lokacije vzorčevanja enako oddaljeni sta tudi izračunani hitrosti pretakanja za obe barvili enaki – 67 m/h . V vzorcih izmerjene koncentracije rodamina v izviru Are so redke in zelo nizke. Najvišja koncentracija nastopi v vzorcu z dne 23. junija 1986 ob 7^{h} in doseže le $0,010 \text{ mg/m}^3$.

Na izviru Sv.Ivan v Buzetu se uranin prvič pojavi v sledovih v vzorcu, zajetem 246 ur po injiciranju. Izračunana hitrost pretakanja znaša 76 m/h . Le nekaj nižja hitrost 72 m/h je izračunana za rodamin, ki se je pojavil po 258 urah.

Za izvire, vzorčevane v Kvarnerskem zalivu, izračunov hitrosti nismo delali, saj izmerjene koncentracije uranina niso primerljive, koncentracije rodamina pa so redke in nizke. Zvezno nastopajo koncentracije rodamina le v izviru pod hotelom Admiral v vzorcih od 8. junija do zaključka vzorčevanja 24. julija 1986.

Izkoristek bakteriofagov oziroma količino povrnjenega sledila smo izračunali po naslednji formuli:

$$\text{izkoristek} = M_2/M_1 \times 100$$

pri čemer pomeni:

M_1 – količina injiciranega bakteriofaga v pfe

M_2 – količina povrnjenega bakteriofaga v pfe

$$M_2 = \sum_{i=1}^n c_i \times Q_i \times (t_i - t_{i-1})$$

pri čemer pomeni:

c_i – koncentracija fagov v vzorcu i

Q_i – pretok v času jemanja vzorca i

T_i – čas, ki je potekel od injiciranja do zajetja vzorca i

Pri sledenju ponikalnic pri Hotični smo za izvir Rižane dobili izkoristek sledila 6,26%. Če upoštevamo faktor zmanjšanja količine bakteriofagov f_1 oziroma f_2 iz jamskega poskusa, znaša izkoristek sledila med 45,7 in 72,4% pri čemer moramo upoštevati, da so se fagi pojavili le v Rižani. Navidezna hitrost podzemeljskega pretoka od Hotične do izvira Rižane pa je znašala v času sledenja 26 m/h z ozirom na maksimum koncentracije.

Upoštevajoč vse tri lokacije, za katere smo izvedli račun, so količine povrnjenega rodamina sledeče:

Rižana	– 2129	g
Osapska reka	– 49	g
Mlini	– 0,45	g

S k u p n o – 2178,45 g (10,9% injicirane količine)

Pri skupni količini povrnjenega sledila uranina, smo za izvir Rižane upoštevali količino povrnjenega barvila od 1. junija 1986 do konca vzorčevanja:

Rižana	– 43,6 g
Osapska reka	– 16,7 g
Mlini	– 1,0 g

S k u p n o – 61,3 g (0,3% injicirane količine sledila)

Če odštejemo visoko ozadje za Rižano, preostane le 22,2 g uranina oziroma 0,1% injicirane količine.

Rezultati sledenja z gotovostjo dokazujejo le pripadnost območja Hotične in Jezerin izvirom Rižane. Povezava območja Jezerin in Malih Loč z izvirom Osapske reke je na podlagi podanih rezultatov zelo verjetna. Prisotnost sledila rodamin tako v izviri Rižane kot tudi Osapske reke dokazuje, da gre pri slednjem za visokovodni preliv iz podzemne akumulacije Rižane. Zato domnevamo, da se del voda z območja Malih Loč pretaka tudi v izvire Rižane. Samo na podlagi analiz in izračunane količine povrnjenega sledila uranina pa tega ne bi mogli trditi.

Hitrosti pretakanj od injicirnih mest proti izvirom Rižane in Osapske reke so praktično iste in ne presegajo 35 m/ h. Hitrosti pretakanj, izračunanih na podlagi prvih pojavov barvil v izviri v povodju Mirne so znatno višje in naj bi presegale 60 m/h. Na podlagi razdalj, višinskih razlik in splošnih značilnosti kraških sistemov je ta hitrost možna (P.Krivic in drugi, 1987). Na podlagi rezultatov sledilnega poskusa ne moremo trditi, da se vode z območja Brkinov pretakajo v povodje Mirne, te možnosti pa tudi ne moremo povsem izključiti. Isto velja za povezavo ponora na Jezerinah z izviri v Kvarnerskem zalivu, medtem ko za povezavo s ponorom v Malih Ločah ne moremo podati nobenih zaključkov zaradi sočasnega sledilnega poskusa z istim barvilom v Veprincu nad Opatijo.

Količine povrnjenih sledil so nizke. Razlog za to je lahko veliko razredčenje sledil, do katerega prihaja še posebej ob intenzivnih padavinah zaradi hudourniškega značaja nekaterih dotokov na Brkinih (Gabrski potok) ter zaostajanje sledil v prekatih podzemnega pretočnega sistema. Hitrosti in smeri pretakanja skozi tako obsežen podzemni sistem so tudi zelo odvisne od hidrološkega stanja in so težko primerljive ob različnih vodnih stanjih.

SLEDENJE V DANAH, RAČIŠKIH PONIKVAH IN MOVRAŽU

Injicirna mesta in določitev sledil

Prva lokacija injiciranja je bil ponor Račiške Dane pri Račicah (470 m n.m.) na jugovzhodnem obrobju Brkinov (slika 1). Ponor leži v nadaljevanju niza že raziskanih ponorov na južnem robu Brkinov. Vodotok, katerega zaledje se nahaja na flišnem območju Brkinov, ponika na koncu slepe doline v jami, ki se nahaja pod strmo steno v paleogenskih apnencih. Rezultati predhodnih sledilnih poskusov so nakazali, da voda z območja vzhodno od Obrova verjetno odteka pretežno v smeri proti Kvarnerju. Z ozirom na to, da je razdalja med tem ponorom in izviri Rižane največja, smo za ta ponor določili 20 kg uranina.

Drugo izbrano mesto za injiciranje je bil potok, ki ponika v Danah pri Vodicah v Čičariji

(590 m n.m.). Potok priteče z dolomitnih pobočij in pri nižjem vodnem stanju ponikne že nad naseljem, pri višjem vodnem stanju pa v slepi dolini pod naseljem. Za ta ponor smo izbrali 15 kg rodamina. Kot tretje injicirno mesto je bil izbran ponor na Movraškem polju (170 m n.m.), kjer smo za sledenje uporabili bakteriofage.

Opazovani izviri in program vzorčevanja

Med sledilnim poskusom smo opazovali 10 izvirov, na katerih smo že pred injiciranjem jemali slepe vzorce. Ti izviri so bili isti kot pri predhodnem sledenju, poleg njih pa še izvir Sv.Stjepan (Bulaž) pri Istrskih Toplicah in posebej še izvir Sopot v Mlinih, poleg skupnega vzorca vode iz izvirov v Mlinih. Število slepih vzorcev (150) je bilo razmeroma veliko, vendar potrebno zaradi prejšnjih sledilnih poskusov, ki smo jih izvedli za ugotavljanje zaledja Rižane. V programu je bilo predvideno, da bo vzetih 900 vzorcev, analiziranih pa 700. Dejansko je bilo vzetih in analiziranih 1077 vzorcev.

Hidrometrične meritve

Zaradi omejenih finančnih sredstev je bil program hidrometričnih meritev tokrat zmanjšan na minimum. Pretoke smo izmerili le na 8 profilih in to na petih ponorih in treh izvirih. Med sledilnim poskusom so bili opazovani vodostaji na izvirih Osapske reke, Rižane (postaji hidrološke mreže) in pritoka Bračane.

Hidrološke razmere med sledilnimi poskusi v letih 1985, 1986 in 1987 so bile dokaj različne, kot je razvidno že iz izmerjenih pretokov na dan injiciranja sledil (tabela 3).

TABELA 3: Vodne množine na dan injiciranja sledil

Vodomerski profil (vodotok.lokacija)	ponor/izvir (p/i)	1985 (m ³ /s)	1986 (m ³ /s)	1987 (m ³ /s)
Ločica-Brezovica	p	0,125	0,032	0,233
Velika voda-Male Loče	p	0,013	0,019	0,228
Račiške ponikve	p	0,014	—	0,080
Rižana-VP Kubed	i	2,8	1,73	8,79
pritok Bračane-Mlini	i	0,150	0,064	0,814

Sledenje v letu 1987 je bilo izvedeno namenoma pri nekoliko višjem vodnem stanju, da se zagotovi zadosten pretok vode v podzemlje na slabo vodnatih ponorih v Danah in v Movražu. Glede na velike razdalje med ponori in izviri je bil za izid poskusa ugoden nastanek vodnega vala 7 dni po injiciranju. Hidrološke razmere so bile najbolj neugodne leta 1986, ko je konstantno dokaj nizko vodno stanje bilo ves čas od injiciranja do prvih pojavov sledil na izvirih. V letu 1985 je bilo hidrološko stanje ugodno, ker je porast vodnega stanja 2 dni po injiciranju pospešil pretok sledil skozi podzemlje (P. Krivic in drugi, 1987).

Izdatnosti izvirov ob obali Kvarnerja se redno ne meri. Podjetje "Vodoprivreda" Rijeka je vršilo meritve pretokov za izvira pri hotelih Admiral in Kristal le v sušnih poletnih obdobjih. Podajamo podatke za pretoke, merjene v letih 1985, 1986 in 1987.

TABELA 4: Izdatnosti izvirov v Opatiji v sušnih obdobjih (meritve "Vodoprivreda" Rijeka) v m³/s

Izvir/Datum	10/9–1985	25/7–1986	27/8–1986	21/9–1987
Hotel "Kristal"	0.408	0.413	0.609	0.739
Hotel "Admiral"	0.042	0.078	0.004	0.104

Na podlagi razpoložljivih podatkov predpostavljamo skupno izdatnost obeh izvirov v sušnih obdobjih cca 0,5 m³/s, po primerjavi s pretoki Rižane pa cca 0,9 m³/s v mesecu maju, cca 0,8 m³/s v juniju in cca 0,6 m³/s v juliju 1987. Verjetno so skupni podzemni pretoki v neposrednem zaledju Kvarnerja precej večji, ker v urbaniziranem okolju ni možno kartirati vseh izvirov, ponekod je otežkočeno meriti izdatnosti zaradi vpliva morja, nekaj sladke vode pa izteka pod morjem.

Injiciranje sledil

Sledila smo v izbrane ponore injicirali 6.maja 1987 ob 14. uri, ko je bila hidrološka situacija po padavinah 4. in 5. maja 1987 za injiciranje primerna, čeprav še vedno ne idealna. Pretok v izbranih ponorih je namreč zadosten za injiciranje le v obdobjih z izdatnejšimi padavinami. Obenem pa pretoki v izvirih ne smejo biti previsoki, ker so sicer razredčitve sledil prevelike. V ponor Račiške Dane smo injicirali 20 kg uranina Kemika ob pretoku vode v ponor 80 l/s.

V potok, ki teče skozi Dane pri Vodicah v Čičariji smo injicirali 15 kg rodamina FB (BASF). Pretok vode v potoku je bil kljub dežju v prejšnjih dneh in rosenju v času sledenja nizek. Injicirali smo pod zajetjem za lokalni vodovod, zato je bil pretok vode v profilu pod umetnim vplivom porabnikov in je nihal za približno 1 l/s. Barvilo smo vlili v tolmun okoli 50 m gorvodno od cestnega mostu, kjer je bil pretok ocenjen na 5 l/s. Nizvodno od injicirnega mesta voda ponika in je bil okoli 20 m nizvodno izmerjen pretok 4 l/s. Potok je dokončno ponikal pod cestnim mostom.

Na tretjem injicirnem mestu, požiralniku na Movražu, smo injicirali bakteriofag P22H5. Požiralnik je bil v času injiciranja zalit, pretok merjen v kanalu nad zalitjem je znašal 10 l/s. V jezero blizu ponora smo zlili 16600 ml fagne juhe s skupnim titrom $8,3 \times 10^{14}$ pfe.

Rezultati analiz bakteriofagov

Iz dobljenih pozitivnih rezultatov z metodo agarskega preliva smo sestavili sledilne kri-

vulje, ki so predstavljene v diagramih. Iz podatkov smo izračunali tudi težišnico vala po naslednji formuli:

$$tg = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n c_i}$$

pri kateri pomeni:

c_i – koncentracija fagov v vzorcu i

t_i – čas, ki je potekel od injiciranja do zajetja vzorca i

Ker smo imeli prejšnje leto precej majhno vrednost v količini povrnjenih bakteriofagov, smo tudi tokrat v vzorce vode injiciranega potoka, reke Rižane in ostalih izvirih dodali znane količine bakteriofaga in inkubirali v jamskem laboratoriju v temi pri temperaturi 14° C. Upadanje količine bakteriofagov v teh vzorcih smo spremljali od dneva injiciranja do konca vzorčevanja v vseh izvirih. Iz teh rezultatov smo izračunali faktor znižanja količine bakteriofagov s pomočjo regresijske krivulje.

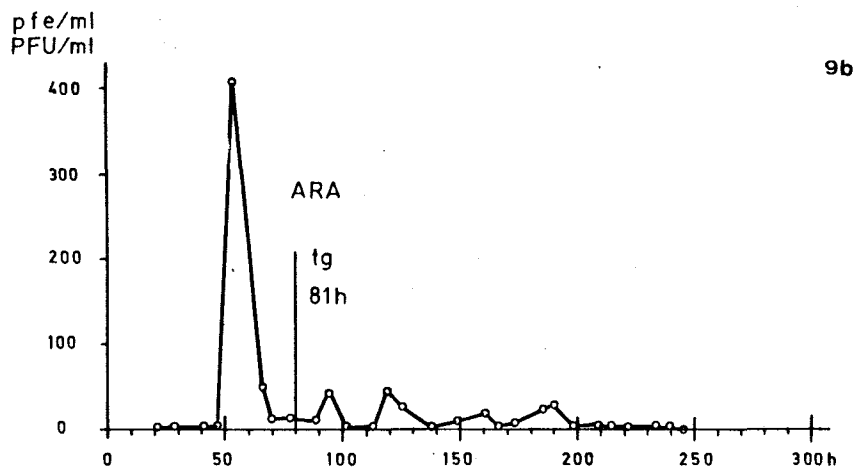
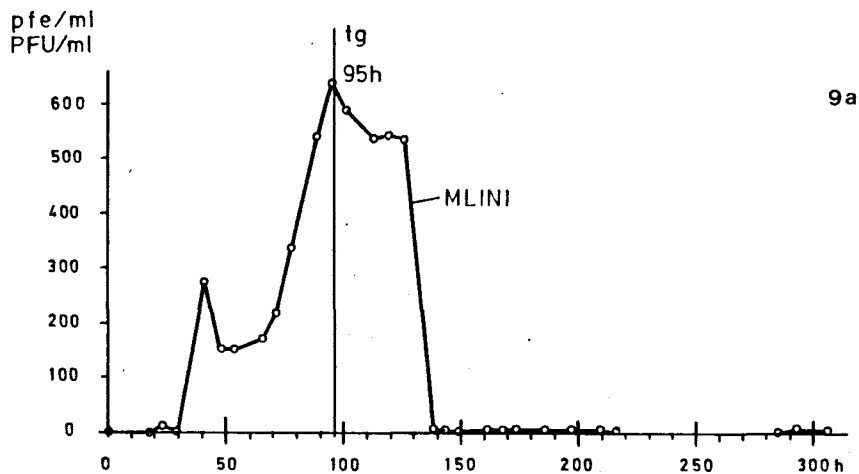
Z znano težišnico vala in faktorji zmanjšanja količine bakteriofagov v vzorcu smo izračunali po empirični formuli potrebno količino bakteriofagov, ki znaša $2,25 \times 10^{11}$ pfe. V sledilnem poskusu pa smo uporabili $8,3 \times 10^{14}$ pfe, kar pomeni, da je bila uporabljena količina sledila v presežku.

Z vzorčnega mesta Mlini smo obdelali vzorce, ki so bili jemani od maja do junija 1987 trikrat dnevno in sicer ob 8^h, 14^h in 20^h. Vzorci so bili obdelani z obema metodama: metodo agarskega preliava in MPN metodo. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 7.maja 1987 ob 14^h, maksimalno koncentracijo 654 pfe/ml pa 10.maja 1987 ob 14^h. Sledilna krivulja je podana na sliki 9, kjer je tudi označena težišnica vala, ki znaša 94,6 ur. Delež vrnjene snovi, izračunan po zgoraj navedeni formuli, ne da bi upoštevali faktor znižanja števila bakteriofagov, je 3,4%, ob upoštevanju faktorja pa 5,3%.

Vzorce z vzorčnega mesta Ara smo obdelali za obdobje od 6. maja do 9. junija 1987. Vzorci so bili jemani trikrat dnevno in sicer ob 8^h, 13^h in 20^h. Vzorci so bili obdelani z metodo agarskega preliava in MPN metodo. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 7. maja 1987 ob 20^h, maksimalno koncentracijo 416 pfe/ml pa 8.maja ob 20^h. Sledilna krivulja je prikazana na sliki 9. Težišnica vala znaša 80,8 ur.

Z vzorčnega mesta Sopot smo obdelali vzorce, ki so bili jemani od 6. maja do 9. junija 1987 po trikrat dnevno. Vzorce smo obdelali z obema metodama. Prvi pozitivni rezultat je bil 7. maja 1987 ob 13^h, maksimalno koncentracijo 32,4 pfe/ml pa smo ugotovili 14. maja ob 8^h. Na sliki 9 je podana sledilna krivulja. Težišnica vala znaša 145 ur.

Iz izvira Bulaž smo analizirali od 6. maja do 9. junija 1987 po en vzorec dnevno. Vzorci so bili jemani ob različnih urah, vsak dan v drugem delu dneva. Obdelali smo jih z obema metodama. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 12. maja ob 18^h, maksimalno koncentracijo 0,4 pfe/ml pa 14. maja ob 9^h. Zaradi izredno nizkih vrednosti, v glavnem pod mejo detekcije metode agarskega preliava, podajamo na sliki sledilno krivuljo, izdelano na osnovi podatkov



Sl.9 Časovni potek koncentracij bakteriofagov injektiranih v Movražu v nekaterih izviri v porečju Mirne

Fig.9 Concentration curves of bacteriophages injected in Movraž as appeared in some springs

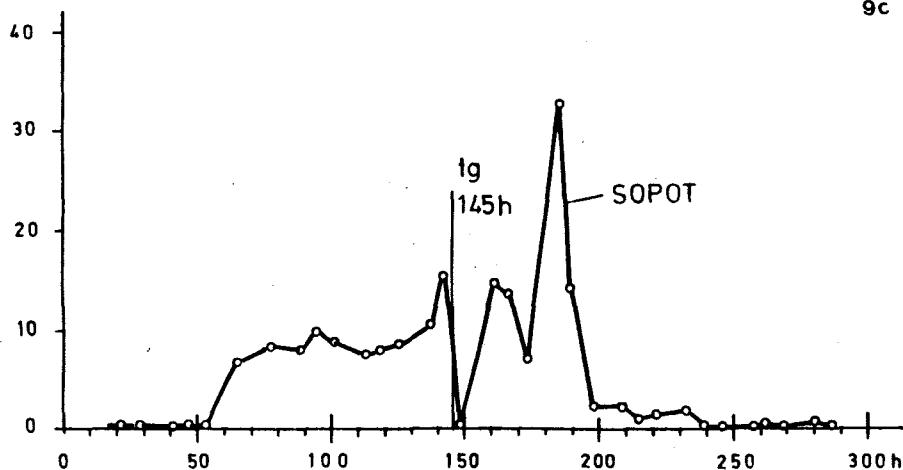
dobljenih z MPN metodo. Iz krivulje je dobljena težiščnica vala z vrednostjo 192,5 ur, izračunana prav tako na osnovi podatkov, dobljenih z MPN metodo.

Popolnoma negativni rezultati vzorčevanja so bili na izviri Sv.Ivan, Osapska reka in Rižana.

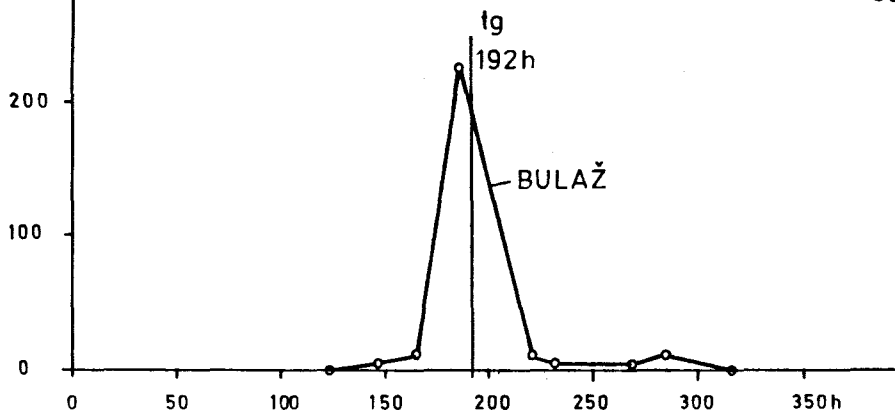
Z zgoraj navedenimi rezultati je bila dokazana zveza ponikalnice na Movraškem polju z izviri Ara, Sopot in Slapi v Mlinih in z izvirom Bulaž pri Istrskih Toplicah. Zaradi zelo nizke

pfe/ml
PFU/ml

9c

pfe/100ml
PFU/100ml

9d

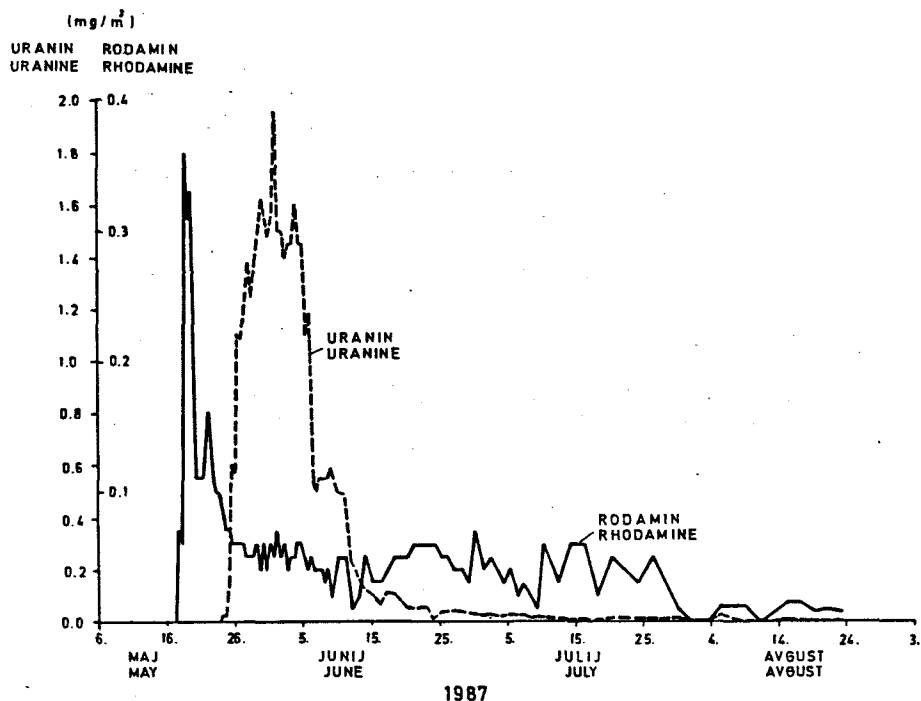


koncentracije bakteriofagov in časovnega zaostanka je možno, da se v tem izviru pojavlja tudi del vode Bračane in Mirne, ki tečeta v zaledju izvira Bulaž preko apnenčevih plasti in napajata podtalnico. Tako je možna, poleg podzemске povezave Movraškega polja z izvirom pri Istrskih Toplicah, tudi posredna povezava, preko izvirov v Mlinih in površinskega toka Bračane do izvira Sv.Stjepan (Bulaž). Z injiciranjem sledila direktno v potok Bračane in vzorčevanjem na Bulažu bi bilo možno to hipotezo tudi preveriti.

Rezultati analiz

Pri tokratnem sledilnem poskusu smo analizirali 150 slepih vzorcev. Signali na valovnih dolžinah, ki so značilni za fluorescenčna barvila, se občasno pojavljajo tudi v čistih vodah. Te signale povzročajo največkrat organske snovi, ki se v vodah pojavljajo kot produkt razpadanja rastlinskih in živalskih organizmov. Pri izviri, kjer so signali prisotni v tolikšnem številu slepih vzorcev, kot je to primer pri izviru Rižane in morda tudi pri izviru Sv.Ivan, je to najverjetneje znak, da je nekaj barvila ostalo v podzemlju še od sledilnih poskusov v letih 1985 in 1986.

V 1077 vzorcih, vzetih po injiciranju sledil, smo analizirali vsebnost fluorescenčnih barvil uranin in rodamin. Rezultati analiz so prikazani na slikah 7 in 8. Iz teh diagramov je razvidno, da sta se obe fluorescenčni barvili pojavili z značilnim časovnim potekom koncentracij v obeh izviri v Opatiji pod hoteloma Admiral in Kristal. Koncentracije in časi pojavov po injiciranju v teh dveh izviri so podani v tabelah 5 in 6.

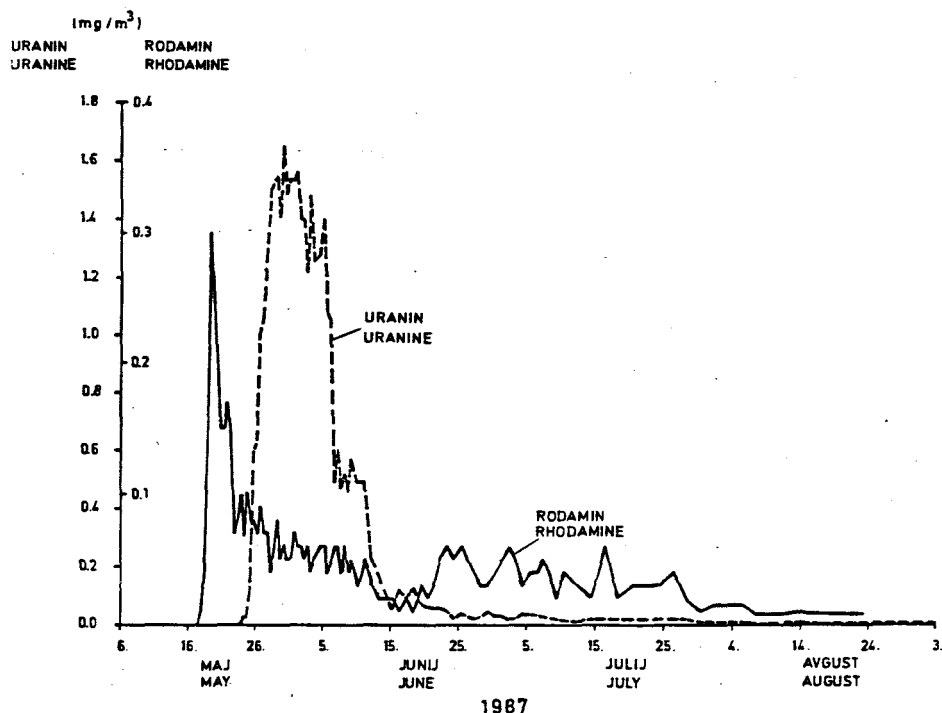


Sl.7 Koncentracija in časovni razpored uranina iz Račiških ponikev in rodamina iz Dan v izviru pod hotelom Admiral v Opatiji

Fig.7 Concentration and temporal distribution of uranine from Račice swallow-hole and rhodamine from Dane as appeared in the spring under the hotel Admiral in Opatija

TABELA 5: Podatki o pojavu uranina v izviri v Opatiji

Izvir	Čas prvega pojava uranina (ure po injic.)	Konc.prvega pojava ura= nina (mg/m^3)	Čas pojava maks.konc. (ure po injec.)	Maksimalna konc. uranina (mg/m^3)
Admiral-Opatija	426	0.025	569/617	1,630/1,950
Kristal-Opatija	426	0.025	569	1,650



Sl.8 Koncentracija in časovni razpored sledil v izviru pod hotelom Kristal v Opatiji

Fig.8 Concentration and temporal distribution of dyes in the spring under the hotel Kristal in Opatija

TABELA 6: Podatki o pojavu rodamina v izviri v Opatiji

Izvir	Čas prvega pojava rodam. (ure po injic.)	Konc.prvega pojava roda= mina (mg/m^3)	Čas pojava maks.konc. (ure po injec.)	Maksimalna konc. rodam. (mg/m^3)
Admiral-Opatija	268,5	0.070	293/316,5	0,360/0,330
Kristal-Opatija	268,5	0,010	306	0,300

V diagramih (sliki 7, 8) za izvira pod hotelom Admiral in Kristal opazimo nihanje koncentracij barvil. To nihanje pripisujemo občasnemu vplivu morske vode na oba izvira v Opatiji ob plimi (razredčevenje). V ostalih opazovanih izvirih sta se rodamin in uranin pojavljala le občasno v sledovih na meji detekcije in v nizkih koncentracijah, enako tudi v slepih vzorcih.

Izračun količine povrnjenih sledil in hitrosti vodnih tokov

Izračun povrnjenih sledil smo naredili za 5 izvirov, za katere smo imeli podatke o pretokih, ne glede na izvor signalov na valovni dolžini, značilni za obe fluorescenčni barvili (prejšnji sledilni poskus, ozadje). Pretoki za izvire v Opatiji (hotela Admiral in Kristal) so bili ocenjeni na podlagi razpoložljivih podatkov. Količina povrnjenih sledil je podana v Tabeli 7.

TABELA 7: Količina povrnjenih sledil v izvirih

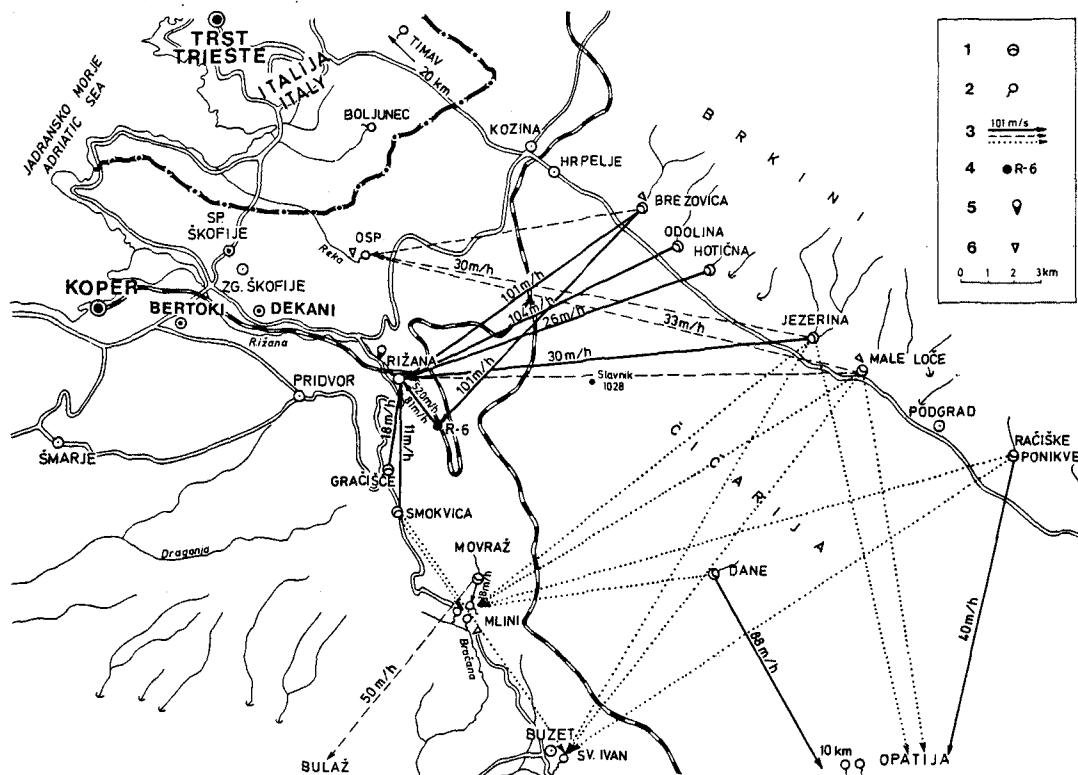
Izvir	Uranin	Rodamin
	g	g
Rižana – vodarna	71	10
Osapska reka – Osp	12	0
Pritok Bračane–Mlini	0,2	0,4
Hotel Admiral–Opatija	307	54
Hotel Kristal–Opatija	1124	202

Po naši interpretaciji je barvilo, ki se je pojavilo v izviru Rižane, Osapske reke in Mlinih, ostanek sledil, injiciranih v letih 1985 in 1986 in morda tudi tokratnega sledilnega poskusa kot posledice manjšega prelivanja vode iz glavnih podzemnih kanalov. Količina povrnjenih sledil je torej v vzorčevanih izvirih le 1,4 kg uranina in 0,26 kg rodamina, kar je 7% injicirane količine uranina in 1,7% injicirane količine rodamina. Količina povrnjenih sledil je zelo majhna, kar pripisujemo dvema dejstvom:

a) Vzorcevali smo le v treh izvirih na Kvarnerski obali. Podatki o izvirih in pretočnih količinah vode za to območje niso zanesljivi. Znani so močni podmorski izviri, za katere pa tudi ni podatkov o količinah. Zaradi močno omejenih finančnih sredstev teh raziskav ni bilo mogoče realizirati in smo se omejili le na najnujnejše vzorčevanje, še posebej, ker je bil program študijske naloge usmerjen na ugotavljanje zaledja izvirov Rižane. Ob Kvarnerski obali smo kot reprezentativne izbrali 3 izvire.

b) Različne odstotke obeh povrnjenih sledil si razlagamo z različnimi pogoji na injicirnih mestih. Pretok v potoku v Danah pri Vodicaх je bil zelo majhen (5 l/s), komaj še zadosten za injiciranje fluorescenčnega barvila. Pri tako majhnih pretokih obstoja velika verjetnost zastajanja barvila v podzemlju.

Navedene hitrosti podzemskih vodnih tokov z ozirom na prvi maksimum koncentracije so znašale, v času sledilnega poskusa z bakteriofagi, od 11 m/h od Movraža do izvira Sopot,



Sl.10 Opazovalna mreža in rezultati sledilnih poskusov v zaledju izvira Rižane

1 - obarvan požiralnik, 2 - opazovani izvir, 3 - ugotovljena smer in navidezna hitrost podzemne vode (glavna, stranska in nezanesljiva povezava), 4 - opazovana vrtna, 5 - vodomerna postaja z limnigrafom, 6 - vodomerni profil

Fig.10 Topographic map showing the observation network of the Rižana catchment area and results of dye-tracing

1 - swallet of traced sinking stream, 2 - dye monitoring spring, 3 - direction and rate of ground water flow as determined by tracing (main, secondary, uncertain) 4 - well sampled for tracers, 5 - river gauging station with autographic recorder, 6 - river gauging station

18 m/h do izvira Ara, 25 m/h do Mlinov in kar 50 m/h do izvira Bulaž pri Istrskih Toplicah. Navidezna hitrost, ki je bila ugotovljena z uraninom od Račiških ponikev do izvirov v Opatiji znaša 40 m/h in hitrost, ki je bila ugotovljena z rodaminom med Danami pri Vodicah in Opatiji znaša kar 88 m/h (slika 10).

VARSTVENA OBMOČJA ZA ZAŠČITO KVALITETE VODE IZVIRA RIŽANE

Varstvena območja izvira Rižane so bila določena na osnovi rezultatov treh faz raziskav. Predhodno so bile izvršene raziskave, sledilni poizkusi, ugotavljanje smeri toka podtalnice in časa zadrževanja podzemne vode v podzemlju na območju znotraj površinske razvodnice Rižane. To je dolina Rižane z vsemi površinskimi pritoki nad izvirom Rižane in vsa pobočja, ki površinsko gravitirajo proti izviru Rižane. Izvršenih je bilo 15 sledilnih poskusov, večinoma z uporabo Na – fluoresceina, nekaj pa tudi s soljo (NaCl). Sledila so bila injektirana v različne piezometrične vrtine, ki so razporejene po dolini Rižane od izvira pa vse do Hrastovelj in Dola. Opazovanja in vzorčevanja so potekala na izviru Rižane, v vodarni Rižana in občasno v vodnjakih R-6, R-7, R-8, R-3 in R-5 (slika 11).

V okviru prve faze pa je bil izvršen velik kombiniran sledilni poskus z istočasnimi obarvanjem štirih ponikalnic s štirimi različnimi sledili z namenom, da se ugotovi vsaj del vodozbirnega zaledja izvira Rižane na področju Matarskega podolja, Gračišča in Smokvice. Vzorčevanja so potekala od Kvarnerskega zaliva, hrvaškega dela Istre, Rižane do izvirov ob Tržaškem zalivu v Italiji. Tako je bilo ugotovljeno padavinsko zaledje izvira Rižane s 183 km² površine, od katerega je odpadlo na najožji varstveni pas 2,5 km², na ožji varstveni pas pa 43,7 km², na širši varstveni pas 110,8 km² in na vplivni varstveni pas 26 km².

V drugi fazi sledilnih poskusov so bile obarvane ponikalnice v Malih Ločah, Jezerini in Hotični. Vzorci pa so bili redno jemani v Ospu, Rižani, Buzetu, Mlinih in treh izvirih v Kvarnerskem zalivu. Dokazana je bila pripadnost področja od Hotične do Jezerine izviru Rižane. Del vode, ki ponika v Malih Ločah, se tudi pretaka proti izviru Rižane, del vode pa verjetno v izvire ob Kvarnerskem zalivu in v povodje Mirne. Glede na rezultate sledenja tudi izvir Osapske reke pripada zaledju Rižane in predstavlja visokovodni preliv voda iz zaledja Rižane.

Z zadnjimi sledilnimi poskusi, ki so bili izvedeni s tremi različnimi sledili v Račiških ponikvah, Movražu in Danah pri Vodicah pa je bila določena meja padavinskega zaledja Rižane na vzhodnem in jugovzhodnem delu, saj se vode iz teh ponikalnic niso več pojavile v izviru Rižane, pač pa iz Račiških ponikev in Dan v dveh izvirih pri Opatiji, iz Movraža pa v izvirih pri Mlinih in Bulažu pri Istrskih Toplicah (slika 10). S tem so bile določene meje varstvenih pasov, kot smo jih predvideli v letu 1986 in odpadle so vse nejasnosti glede meja padavinskega zaledja Rižane na vzhodnem in jugovzhodnem delu. Površina celotnega padavinskega zaledja znaša 237 km². Od tega na najožji varstveni pas 2 km² (cona 1.a in 1.b), na ožji varstveni pas 90 km², na širši varstveni pas 120 km² in na vplivni varstveni pas 25 km² (slika 12).

Prva verzija varstvenih pasov Rižane je bila določena na osnovi sledenj, opravljenih v

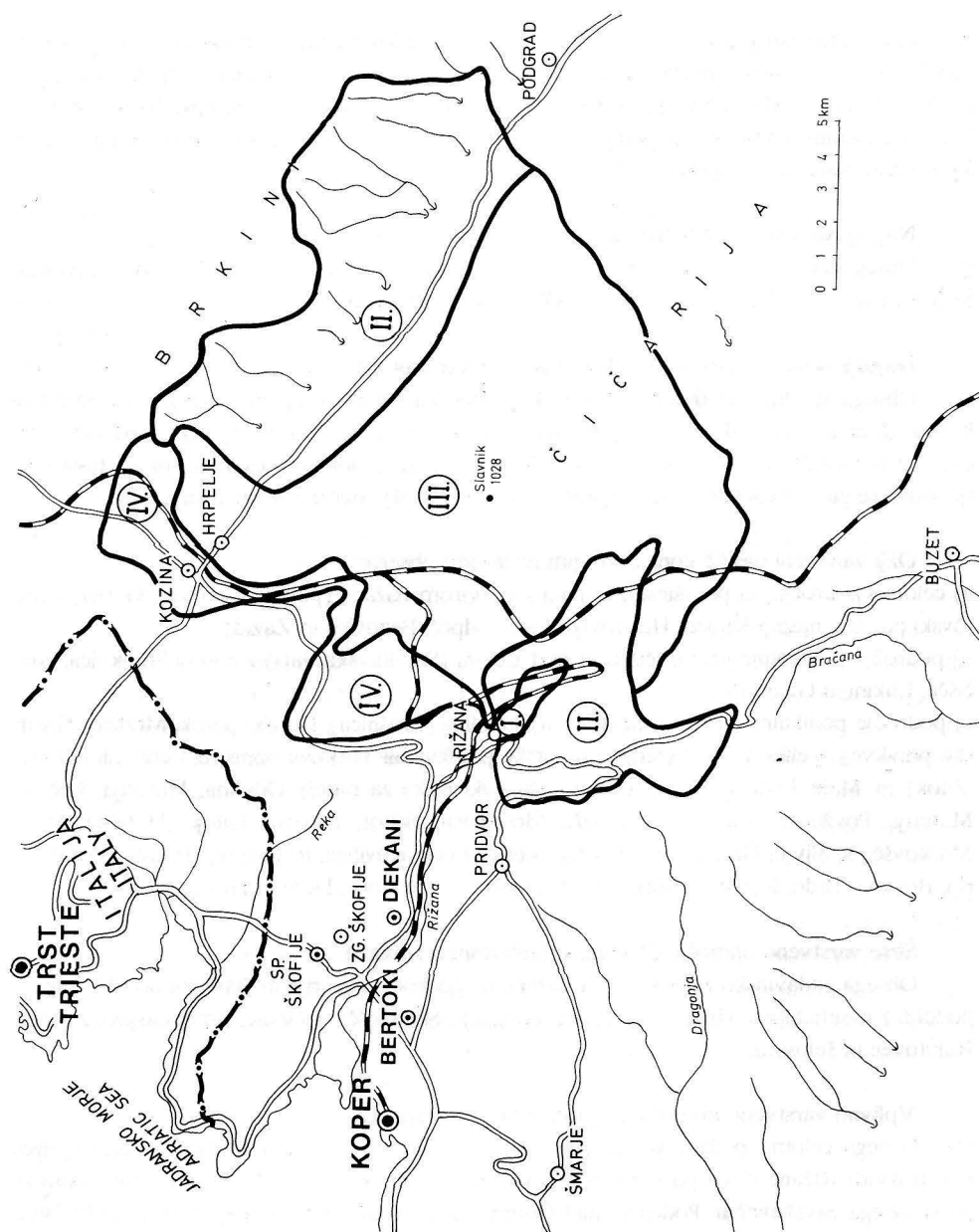


Sl.11 Injiciranje uranina v vrtino v zaledju izvira Rižane

Fig.11 Injection of uranine dye in borehole in the Rižana spring catchment area

letu 1985 (P.Krivic, 1985). Sledilni poskusi, opravljeni v letu 1986 so seveda prinesli nova spoznanja o padavinskem zaledju izvira Rižane, zato je bilo treba prvotni predlog dopolniti (P.Krivic, 1986). Končno verzijo varstvenih pasov izvira Rižane pa podajamo po zaključku tretje faze sledilnih poskusov, ki je prinesla manjše spremembe meja varstvenih pasov na vzhodnem in jugovzhodnem območju zaledja izvira Rižane.

Na osnovi predhodno izvršenih raziskav so bili določeni varstveni pasovi in območja izvira Rižane. Za določitev varstvenih pasov so bili uporabljeni kriteriji po metodologiji za



Sl.12 Varstveni pasovi izvira Rižane

Fig.12 Ground water quality protection areas of the Rižana spring

določitev varstvenih pasov v karbonatnih kamninah za kraške vodonosnike (P.Krivic in drugi, 1987). Meja med širšim in vplivnim varstvenim območjem ločuje območje, ki zanesljivo pripada padavinskemu zaledju izvira Rižane, od območja, katerega pripadnost Rižani je manj verjetna. Zaradi pomanjkanja ponikalnic na teh višje ležečih terenih pripadnosti tudi ni mogoče dokazati s sledilnimi poskusi.

Najožji varstveni pas (cona 1.a z najstrožjim režimom)

Obsega področje samega izvira Rižane in zajetja Rižanskega vodovoda s cerkvico Sv.Marije ter območje črpališča Tonaži. Območje je ograjeno.

Najožji varstveni pas (cona 1.b z najstrožjim režimom)

Obsega spodnji del doline Hrastovskega potoka do Podračja in spodnji del doline Rakovca, zaselek Zanigrad in ozemlje do Jerebine (Kovk), kote 350 in Brgada (416). Območje dvakrat prečka železniška proga Divača – Koper, prečka ga lokalna cesta Rižana – Hrastovlje in dotika se ga cesta Koper – Buzet, kar zahteva najstrožje ukrepe zavarovanja.

Ožji varstveni pas (2. cona s strogim režimom) obsega:

- a) celotno področje, ki površinsko gravitira k izvirom Rižane (potoki Rakovec, Gaber, Hrastovski potok z naselji Kubed, Hrastovlje, Dol, Podpeč, Bezovica in Zazid).
- b) področje ponikalnic pri Gračišču in pod Lukini (Smokavska vala) z naselji Smokvica, Gračišče, Lukini in Galantiči.
- c) področje ponikalnice Brezovica (Ločica), Odolina (Brašnica), Hotiški potok, Mrzlice (Slivarske ponikve), Velike Loče, Jezerina (Javorske ponikve ali Torkove ponikve, Perilo ali Gabrški potok) in Male Loče (Velika voda, Oslica, Okruglik) za naselji Odolina, Materija, Bač pri Materiji, Povžane, Gradiščica, Artviže, Brezovica, Britof, Rožice, Tublje, Hotična, Mrše, Markovščina, Slivje, Orehek pri Materiji, Velike Loče, Kovčice, Ritomeče, Gradišče pri Materiji, Brezovo Brdo, Rjavče, Gabrk, Javorje, Obrov, Male Loče, Huje in Hrušica.

Širše varstveno območje (3. cona s sanitarnim režimom)

Obsega padavinsko zaledje izvira Rižane na področju Čičarije in Slavnika do Matarskega podolja z naselji Slope, Hrpelje, Praproče, Podgorje, Skadanščina, Golac, Brdo, Gojaki, Zagrad, Rakitovec in Jelovica.

Vplivno varstveno območje (4. cona z blagim režimom)

Obsega celotno padavinsko zaledje izvira Rižane; predvsem področja, za katera pripadnosti izviru Rižane ni mogoče z gotovostjo dokazati, in ki niso obsežena že v ostalih območjih strožjega zavarovanja. Področje nad Črnim Kalom z naselji Črnotiče, Petrinje in Prešnica ter okolica Kozine z naselji Brgod, Kozina in Rodik.

ZAKLJUČEK

V aprilu in maju 1986 so bila izvedena pripravljala dela za kombinirani sledilni poskus v zaledju izvira Rižane in Osapske reke. Dne 13. maja 1986 ob 13^h smo obarvali potok pri Hotični z bakteriofagi, potok Jezerina z okrog 20 kg rodamina in potok v Malih Ločah z 20 kg uranina. Vzorčevanje v Ospu, Rižani, Buzetu, Mlinih in treh izvirih v Kvarnerskem zalivu je potekalo do konca julija 1986. Po 18,5 dneh se je na izviru Rižane pojavilo sledilo iz Hotične, po 19 dneh pa iz Jezerine. Barvila iz Malih Loč nismo zasledili v večji koncentraciji, ki bi nedvomno dokazovala zvezo ponora z izvirom. Tako je bila dokazana pripadnost področja od Hotične do Jezerine izviru Rižane. Del voda, ki ponikajo pri Malih Ločah se pretaka proti izviru Rižane, del voda pa verjetno tudi v izvire ob Kvarnerskem zalivu in v povodje Mirne. Glede na rezultate sledenja tudi izvir Osapske reke pripada zaledju Rižane in predstavlja visokovodni preliv voda iz zaledja Rižane. Majhne količine povrnjenih sledil kažejo, da gre za obsežen in zapleten podzemni kraški sistem.

Druge tri ponikalnice so bile obarvane 6. maja 1987 s tremi različnimi sledili in sicer: Račiške ponikve vzhodno od Podgrada z 20 kg uranina, Dane pri Vodicah s 15 kg rodamina in požiralnik med Movražem in Dvori s 16600 ml bakteriofagov s skupnim titrom $8,3 \times 10^{14}$ pfe. Opazovani so bili izviri od Ospa, Rižane, izvirov v dolini Mirne in njenega pritoka Bračane do izvirov v Kvarnerskem zalivu. Barvili rodamin in uranin sta se pojavili le v 22 km, oziroma 26 km oddaljenih izvirih pri Opatiji, bakteriofagi pa v le 1 km oddaljenih Mlinih in v 9,5 km oddaljenem izviru Bulaž pri Istrskih Toplicah. Nobeno od uporabljenih sledil pa se ni pojavilo na izviru Rižane.

S sledilnimi poskusi, opravljenimi na teh treh ponikalnicah so bile določene razvodnice med porečjem Rižane ter Kvarnerskim zalivom na vzhodnem in porečjem Mirne na južnem obrobju, tako da znaša celotno padavinsko zaledje izvira Rižane 237 km². Od tega odpade na najožji varstveni pas 2 km², na ožji varstveni pas 90 km², na širši varstveni pas 120 km² in na vplivni varstveni pas 25 km².

Poleg padavinskega zaledja podzemske akumulacije Rižane smo, zlasti s sledilnimi poskusi na vzhodnem delu Brkinov in v Čičariji, uspeli razjasniti tudi dobršen del podzemnih vodnih zvez v osrednjem delu Istre. Odprto je ostalo le še vprašanje razvodnice med izvirom Bulaž pri Istrskih Toplicah, katerega je pred kratkim zajel Istrski vodovod iz Buzeta in izviri Bužini in Gabrijevi, ki jih že vrsto let izkorišča Rižanski vodovod iz Kopra. Zato predvidevamo nadaljevanje raziskav s sledilnimi poskusi prav na tem področju.

VIRI IN LITERATURA

- Behrens, H., 1973: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Feststellung von Fließwegen im Grundwasser. Zeit.Deutsch. Geol. Ges., 124, 535-544, Hannover
- Božičević, S., V. Goatti, 1987: Ekonomičnije rešavanje vodozahvata u špiljskom prostoru. 9. jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., 47-52, Priština

- Čadež, N., 1963: Barvanje in poizkus z raziskovalno metodo s trosi v Brkinih leta 1963. Arhiv HMZ, Ljubljana
- Gratia, A., 1936: Les relations numériques entre bactéries lysogènes et particules de bacteriophages. Ann. Inst. Pasteur, 57, 652-676, Paris
- Kinnunen, K., 1978: Tracing water movement by means of Escherichia coli bacteriophages. Publication of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, Helsinki
- Kott, Y., 1966: Estimation of low numbers of Escherichia coli bacteriophages by use the most probable number method. Appl. Microbiol., 14, 141-144
- Krivic, P., 1975: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah za določitev varstvenih pasov izvira Rižane. Arhiv GZL, 1-8, Ljubljana
- Krivic, P., 1986: Podzemna voda v Slovenskem Primorju. Arhiv GZL, 1-33, Ljubljana
- Krivic, P., M. Bricelj, N. Trišić, M. Zupan, 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane. Acta carsologica, 16, 83-104, Ljubljana
- Magdalenic, A., O. Bonacci, V. Jurak, 1987: Sliv izvora Bulaž u središnjoj Istri. Krš Jugoslavije, 12, 1-26, Zagreb
- Pleničar, M., A. Polšak, D. Šikić, 1969: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - list Trst (OGK), Zvezni geološki zavod, Beograd
- Primrose, S., N.D. Seeley, B. Logan, 1982: Methods for the study of Virus ecology, in Experimental Ecology. Edited by Richard G. Burns and J. Howard Slater, Blackwell Scientific Publications
- Seeley, N.D., S.B. Primrose, 1982: The isolation of Bacteriophages from environment. Journal of Applied Bacteriology, 53, 1-17
- Smith, H.O., M. Levine, 1967: A phage P22 gene controlling integration of phage. Virology, 31, 207-216
- Swaroop, S., 1938: Numerical estimation of E. coli by dilution method. Indian J. Med. Res., 26, 353
- Šikić, D., M. Pleničar, N. Šparica, 1972: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - list Ilirska Bistrica (OGK), Zvezni geološki zavod, Beograd
- Timeus, G., 1910: Studi in relazione al provvedimento d'acqua per la città di Trieste. 1-82, Trieste
- Timeus, G., 1928: Nei misteri del mondo sotterraneo. Alpi Giulie, 29, 1-38, Trieste
- Verne, J., 1886: Mathias Sandorf. 1-501, Paris

UNDERGROUND WATER CONNECTIONS IN ČIČARIJA REGION AND IN MIDDLE ISTRIA

Summary

Since the year 1885, when famous writer Jules Verne described first tracing test done in swallow-hole of Fojba river near Pazin in Istria a lot of dye-tracings were performed in this region. The very investigations started in the year 1910 when G. Timeus proved by 50 kg of uranine dye the connection between the Brašnica sinking river at Odolina and the spring of Rižana.

On the 13th of May in the year 1986 three sinking brooks at the Matarsko podolje in the S part of the Brkini Mts. were traced at the same time by three different tracers.

20 kg of Uranin has been injected into the swallet of sinking river Velika voda at Male Loče. At Jezerina tracing with 20 kg of rhodamine has been achieved, while the injection of bacteriophage tracer P22H5 was performed with 17.550 ml of phage broth with titer of 4×10^{14} P.F.U. in Hotična.

Bacteriophages and rhodamine appeared at Rižana spring 18,5 and 19 days after the injection, with the apparent velocity of water flow about 26 and 30 m/h respectively. Rhodamine and uranine appeared also at the temporary spring Osp with the velocities of 30 and 33 m/h. As calculated, the 10,6 % of injected rhodamine and 46% of bacteriophages reappeared at the Rižana spring. But only 0.25 % of rhodamine and even only 0,08 % of total injected quantity of uranine reappeared at Osp.

Three different tracers were injected also at the same time in three different swallow-holes, selected for this experiment on the 6th May 1987. Two of them are in the Čičarija region (Dane and Movraž) and one on the foothills of the Brkini Mts (Račice), where 20 kg of uranine dye has been used. 15 kg of rhodamine has been injected in Dane and 16.600 ml of phage broth with titer of $8,3 \times 10^{14}$ P.F.U. in Movraž sinkholes. Samples were collected in both years from the springs Rižana and Osp, from the springs Sopot, Ara, Sušec, Bulaž and Sv. Ivan in the Mirna valley and from the springs under the hotels Admiral and Kristal in Opatija and from Medveja on the rim of Kvarner Bay of the Adriatic Sea in Croatia. Uranine (7 % of the injected quantity) and rhodamine (1,7 %) were detected in the Opatija springs only, with apparent velocities of the ground water flow of 40 and 88 m/h respectively. Phages reappeared at Mlini springs (5,3 %) and in Bulaž spring in Mirna valley with the velocities of about 18 m/h and 50 m/h.

The final established precipitation recharge area of the Rižana spring amounts to 237 sq. km, of which the most narrow ground water quality protection area comprises 2 sq. km, the narrow protection area 90 sq. km, the broader protection area 120 sq. km and the influence protection area 25 sq. km. The results of investigations are very important for Karst water resources protection.

VPLIVI VODNEGA EKOSISTEMA NA FLUORESCENČNA BARVILA

THE INFLUENCE OF WATER ECOSYSTEM TO
FLUORESCENT DYES

MARTINA ZUPAN

Izvlček

UDK 556.34(497.12):535.37

Zupan M.: Vplivi vodnega ekosistema na fluorescenčna barvila

Koncentracija fluorescenčnih barvil uporabljenih kot sledila za dokazovanje podzemeljskih vodnih zvez se na poti skozi podzemlje zmanjša zaradi adsorpcije, zastajanja, v precejšnji meri pa tudi zaradi vpliva kemijske sestave vode in onesnaženja ter vpliva v vodi živečih organizmov. Zaradi vpliva kemijske sestave vode in onesnaženja se je signal fluorescence v raziskovanih vzorcih vode pri koncentraciji barvil 5 mg/m³ uranina, eozina, amidorodamina in rodamina po 92 dneh zmanjšal na 38 - 98 % začetne koncentracije, po 200 dneh pa na 8 - 96 % začetne koncentracije.

Ključne besede: kras, sledilna metoda, podzemne vodne zveze, onesnaženje, Slovenija

Abstract

UDK 556.34(497.12):535.37

Zupan, Martina: The Influence of Water Ecosystem to Fluorescent Dyes

The concentration of fluorescent dyes used as tracers for underground water connections evidence diminishes on its way through the underground because of adsorption, stagnation and in great deal because of the water chemical composition, its pollution and influence of organisms living in the water. Because of water chemical composition and pollution the signal of fluorescence in the investigated water samples at the dyes concentration of 5 mg/m³ of Uranin, Eosin, Amidorhodamin and Rhodamin after 92 days diminished from 38 - 98 % from the initial concentration, and after 200 days to 8 - 96 % from the initial concentration.

Key words: karst, tracing method, underground water connections, pollution, Slovenia

Naslov - Address

Martina Zupan, dipl.ing.chem.

Hidrometeorološki zavod SRS

Vojkova 1b

YU - 61000 Ljubljana

UVOD

Namen sledilnih poskusov v kraškem svetu je ugotavljanje podzemeljskih vodnih zvez, hitrosti pretakanja, velikosti padavinskega zaledja kraških izvirov in določanje varstvenih pasov, kadar se ti izviri izkoriščajo za vodopreskrbo. Zaključna faza sledilnega poskusa je izračun količine povrnjenega sledila. Ta je iz razlinih vzrokov praviloma nižja od v ponor injicirane količine sledila. Znani vzroki za zmanjšanje koncentracije fluorescenčnih barvil, ki so ena najboljših sledil, so procesi adsorpcije na sediment in kamenine, zastajanje barvil v podzemlju in razpad barvil zaradi vpliva svetlobe. Pri sledilnih poskusih izvedenih v zadnjih 15 letih smo ugotovili, da na zmanjšanje koncentracije fluorescenčnih barvil vplivajo tudi nekateri drugi faktorji podzemnega vodnega ekosistema.

DOSEDANJE RAZISKAVE

Domneva o vplivu vodnega ekosistema na fluorescenčna barvila se je prvič pojavila pri sledilnem poskusu v zaledju kraške Ljubljane leta 1974 (Gospodarič R., Habič P. et al, 1976). Vzporedno določanje koncentracij fluorescenčnih barvil v dveh laboratorijih je pokazalo, da na hitrost razpadanja fluorescenčnih barvil v vzorcih vode poleg svetlobe vplivajo še drugi faktorji. Različno izmerjene koncentracije v dveh laboratorijih v posameznih vzorcih smo pripisali vplivu onesnaženja vode in delovanju bakterij. Pojav smo raziskovali dalje in o prvih rezultatih poročali na 4. simpoziju o sledenju podzemeljskih vodnih zvez (Zupan M., 1982). Raziskave so pokazale odvisnost spremembe fluorescence od kemijske sestave vode in stopnje onesnaženosti, vendar ni bilo mogoče določiti splošno veljavnih zakonitosti teh sprememb ali jih celo matematično ovrednotiti. Ugotovili smo, da se fluorescenca v nekaterih vodah zmanjša tudi preko 50 %. Zmanjšanje je največje v prvih dneh, kar je z ozirom na trajanje sledilnih poskusov precej neugodno.

Pri sledilnih poskusih izvedenih z barviloma uranin in rodamin v Radovni (Leibundgut, 1983) in Rižani (Krivic et al, 1987), smo vzporedno ugotavljali tudi spremembe koncentracije fluorescenčnih barvil v vzorcih vode v odvisnosti od časa. Raziskave so pokazale, da ne gre le za dejansko zmanjševanje koncentracije fluorescenčnih barvil (sprememba kemijske sestave barvila), temveč se signal fluorescence s časom spreminja navzdol in navzgor. Na podlagi tega dejstva smo domnevali, da se fluorescenčna barvila v nespremenjeni kemijski obliki vežejo tudi na žive organizme, po odmrtni pa se ponovno sproščajo v vodo.

RAZISKAVE VPLIVA VODNEGA EKOSISTEMA NA FLUORESCENČNA BARVILA

Z ozirom na rezultate dosedanjih raziskav, kompleksnost vplivov okolja in možne sinergistične vplive, si za cilj raziskav nismo postavili matematično določljivega koeficienta vpliva okolja kot ga je mogoče definirati za vpliv svetlobe (Behrens, 1982). Cilj naših raziskav je poiskati način za ovrednotenje vplivov okolja, ki pri izračunavanju prispevnosti vode na podlagi sledilnih poskusov nikakor ni zanemarljiv.

Izhodišče programa raziskav je bilo, da je stopnja in hitrost zmanjšanja koncentracije fluorescenčnih barvil oziroma spremembe fluorescence barvil odvisna od stopnje in vrste onesnaženja v vodi ter od vrste in koncentracije uporabljenega barvila. V posredni povezavi s stopnjo in vrsto onesnaženja je tudi sestava v vodi živeče združbe organizmov. Program raziskav smo razdelili v dva sklopa:

- raziskave vpliva kemijske sestave vode in onesnaženja
- raziskave vpliva v vodi živečih organizmov

VPLIV KEMIJSKE SESTAVE VODE IN ONESNAŽENJA

Za poskuse smo izbrali različno onesnažene vode, pripravili z njimi raztopine barvil uranin, eozin, amidorodamin in rodamin v različnih koncentracijah. Vzorce smo hranili v temi pri sobni temperaturi in merili fluorescenco v razdobju 128 do 377 dni, v časovnih razmakih 7 do 65 dni. V končnem obdobju merjenja smo izbrane vzorce izpostavili vplivu dnevne svetlobe in merili zmanjšanje fluorescence vzorcev.

Fluorescenco vzorcev smo merili na fluorescenčnem spektro– fotometru Perkin Elmer 204 po metodi konstantne razlike med ekscitacijsko in emisijsko valovno dolžino 25 nm (Behrens, H., 1971 in 1973).

Z ozirom na rezultate kemijske in bakteriološke analize smo izbrali 20 vzorcev površinskih voda ter izvirov v Sloveniji in ljubljanske vodovodne vode. Razdelili smo jih na 9 različnih tipov onesnaženja in jih s kratko karakteristiko onesnaženja predstavljamo v tabeli 1. Preiskovali smo tudi izvire v Beli Krajini, kjer je bil v času naših eksperimentalnih poskusov izveden sledilni poskus za ugotavljanje zaledja izvira Dobljčica.

Za te izvire kemijskih analiz nismo imeli, vendar so to z izjemo Krupe po podatkih Geološkega zavoda razmeroma čisti kraški izviri. Izmed izvirov v Beli Krajini smo izbrali naslednje: Krupa, Bilpa, Dobljčica, Kotnica, Šumetac, Tropotec in Nerajc. Poskusi s temi izviri in Rinžo so trajali le 106 dni, ker smo imeli na razpolago premalo vzorca vode.

Z vsemi v tabeli 1 naštetimi vzorci voda smo pripravili raztopine pri nas in po svetu najbolj preizkušenih in uporabljenih fluorescenčnih barvil uranin, eozin, amidorodamin in rodamin. Z vsakim barvilom in vzorcem vode smo pripravili raztopine različnih koncentracij (od 0,1 – 100 mg barvila/m³), 4 do 5 za vsako barvilo in vzorec, odvisno od meje določljivosti barvila. Skupaj je bilo izmerjenih preko 1000 koncentracij fluorescenčnih barvil.

Tabela 1 Značilnosti onesnaženja za raziskave izbranih vzorcev površinskih voda

Table 1 The pollution properties of chosen samples of the superficial waters

Vzorec vode	Značilnosti kemijskega onesnaženja	Bakteriološko onesnaženje
Drava–Dravograd Savinja–Veliko Širje	zmerno komunalno onesnaženje in zmerno onesnaženje s kovinami in organskimi spojinami	zmerno
Meža–Otiški vrh	zmerno komunalno onesnaženje, močno onesnaženje s kovinami in zmerno z organskimi spojinami	zmerno
Sava–Blejski most	zmerno komunalno onesnaženje in zmerno s kovinami	zmerno
Notranjska Reka– Cerkvenikov mlin Mura – Ceršak	močno komunalno onesnaženje zmerno onesnaženje s kovinami in organskimi spojinami	zmerno do močno
Ščavnica – Pristava	močno komunalno onesnaženje močno onesnaženje s kovinami in organskimi spojinami, še posebej biocidi	močno
Kamniška Bistrica – Beričevo Ljubljana – Zalog Sora – Medvode Rinža – Kočevje	močno komunalno onesnaženje močno onesnaženje s kovinami in organskimi snovmi	močno
Blejsko jezero – 9.9.1987 Blejsko jezero – 18.4.1988	zmerno komunalno onesnaženje	čista
Izviri v Beli Krajin – 7 vzorcev	čista izvirna voda	ni podatkov
Ljubljanska vodovod– na voda	čista, rahlo klorirana	čista

Za prikaz odvisnosti spremembe fluorescence od časa smo izbrali koncentracijo 5 mg barvila / m³, ker daje za vsa preiskovana fluorescenčna barvila dovolj močan signal na in-

štrumentu, spremembe fluorescence so pri tej koncentraciji relativno dovolj velike, krivulja naraščanja fluorescence je za to koncentracijo linearna. Poleg tega je odvisnost spremembe fluorescence od časa pri tej koncentraciji barvil raztopljenih v vodovodni vodi še razmeroma nizka.

REZULTATI MERITEV

Spremembe fluorescence v vodah s katerimi smo delali poskuse so prikazani s faktorjem C/Co , ki je definiran kot padec koncentracije v času t napram začetni koncentraciji. Vrednosti faktorjev C/Co izmerjenih za koncentracijo barvil 5 mg barvila/m^3 po 92 in 200 dneh so za preiskovane vode prikazani v diagramih 1 in 2. Pri vzorcih Rinže, Krupe in izvirov v Beli Krajini so meritve trajale manj od 200 dni in ta podatek v diagramih manjka. Oba časa smo izbrali z ozirom na praktične izkušnje s trajanjem analiz vzorcev pri sledilnih poskusih. Vzorci srednje velikih sledilnih poskusov (do 1000 vzorcev) so običajno izmerjeni v času do 3 mesecev po injiciranju, merjenje vzorcev pri velikih, kombiniranih sledilnih poskusih (nekaj 1000 vzorcev) pa traja tudi več kot pol leta.

Že hiter pogled na oba diagrama nam pove, da je na sestavo vode najbolj občutljivo barvilo eozin, najmanj pa amidorodamin. Dejstvo, ki sledi iz obeh diagramov je tudi to, da zmanjšanje fluorescence v vzorcih barvil ni premo sorazmerno stopnji onesnaženja. Kot primer je zmanjšanje fluorescence (C/Co) v raztopinah uranina in rodamina pripravljenih z eno najbolj onesnaženih slovenskih rek, Kamniške Bistrice v Beričevem, manjše ali enako zmanjšanju fluorescence v raztopinah pripravljenih z vodovodno vodo. Presenetljivi so bili tudi rezultati merjenj raztopin pripravljenih z vzorcem vode Blejskega jezera vzetem aprila 1988 med močnim cvetenjem *oscillatorie rubescens*. Zmanjšanje fluorescence je bilo v raztopinah vseh barvil razen eozina pripravljenih s tem vzorcem bistveno večje od zmanjšanja fluorescence izmerjenega v raztopinah pripravljenih z vzorcem Blejskega jezera vzetem septembra 1987. Pri eozinu je bilo zmanjšanje fluorescence v obeh vzorcih Blejskega jezera približno enako. Ta pojav potrjuje našo predpostavko, da je zmanjševanje fluorescence odvisno tudi od števila živih organizmov v vodi.

Iz diagramov 1 in 2 tudi vidimo, da vpliv stopnje onesnaženja posameznih vzorcev vode na zmanjševanje fluorescence ni za vsa barvila enak. Na primer, uranin se v vzorcu Ščavnice močno razgrajuje, medtem ko se ostala barvila razgradijo mnogo manj. Prav tako je za različna barvila različna tudi odvisnost zmanjševanja fluorescence od časa, uranin se na primer v vzorcu Meže hitreje razgrajuje kot eozin in rodamin hitreje kot amidorodamin. Zanimivi so tudi rezultati za močno onesnaženo Ljubljano, v kateri so fluorescenčna barvila z izjemo eozina razmeroma stabilna.

Naslednji zelo bistven problem, ki se pojavlja pri vrednotenju rezultatov sledilnih poskusov je odvisnost zmanjšanja fluorescence od koncentracije barvila v vzorcu, vzetem na opazovanem izviru. Pomen tega problema pri izrednotenju rezultatov morda najboljše poznajo praktični primeri: 50 procentno zmanjšanje fluorescence v vzorcu s koncentracijo

Diagram 1: ZMANJŠANJE FLUORESCENCE V RAZTOPINAH URANINA IN EOZINA
(5 mg/m³) PO 92 IN 200 DNEH

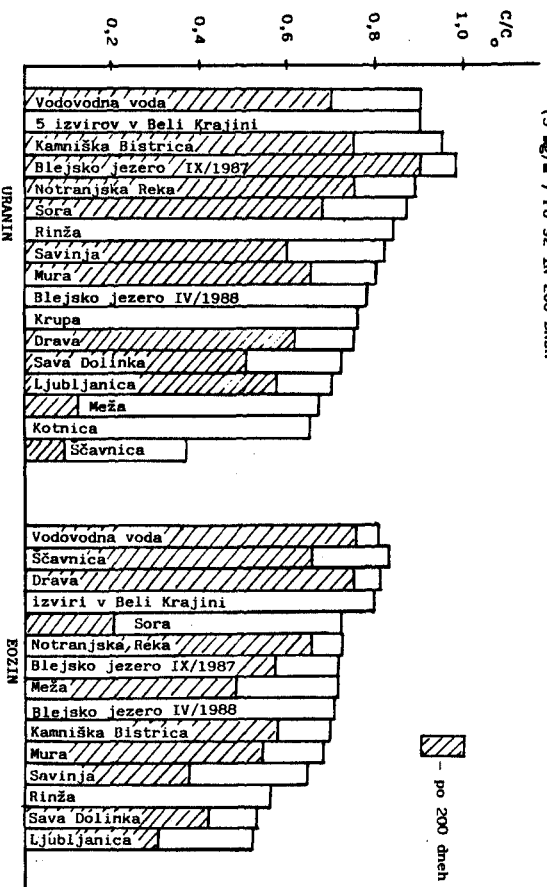


Diagram 2: ZMANJŠANJE FLUORESCENCE V RAZTOPINAH AMIDORHODAMINA
IN RHODAMINA (5 mg/m³) PO 92 IN 200 DNEH

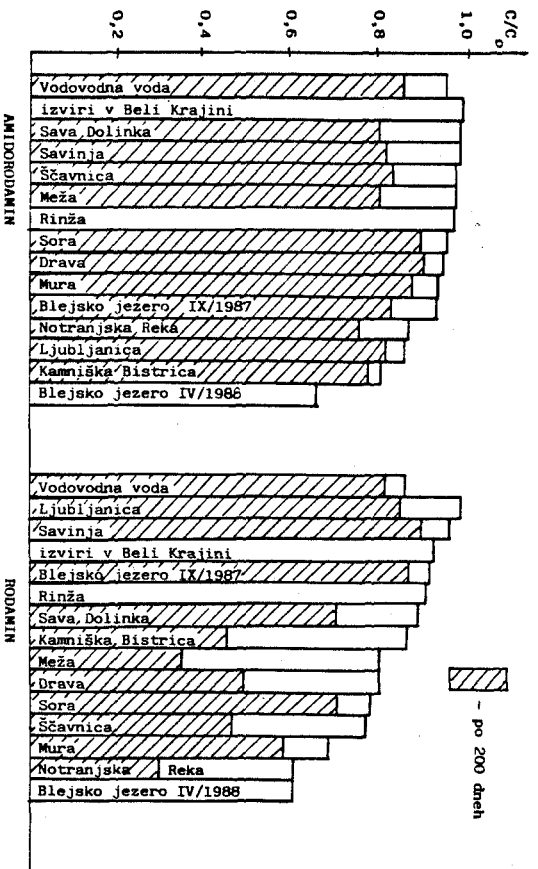


Diagram 1: Reduction of fluorescence in Uranine and Eosin solutions (5 mg/m³) after 92 and 200 days
Diagram 2: Reduction of fluorescence in Amidorhodamine and Rhodamine solutions (5 mg/m³) after 92 and 200 days

Diagram 3: ZNANJŠANJE FLUORESCENCE RAZLIČNIH KONCENTRACIJ BARVIL URANIN, EOZIN, AMIDORODAMIN IN RODAMIN V VODOVODNI VODI PO 92 IN 200 DNEH

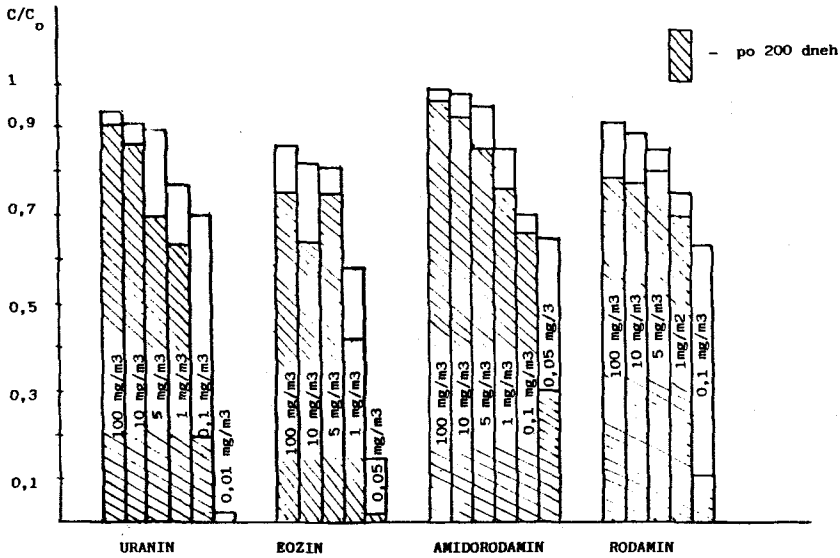


Diagram 4: SPREMEMBE FLUORESCENCE URANINA (5 mg/m^3) S ČASOM V VZORCIH RAZLIČNO ONESNAŽENIH VODA

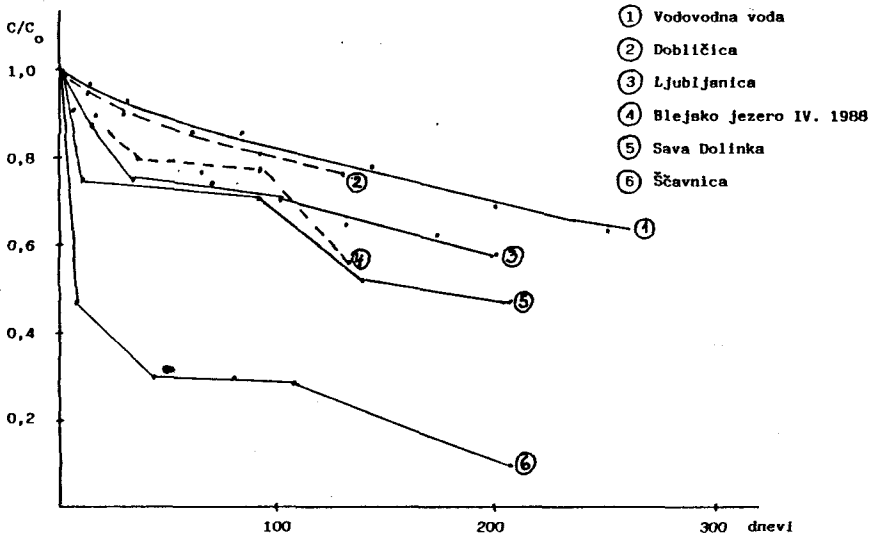


Diagram 3: Reduction of fluorescence of different concentrations of dyes Uranin, Eosin, Amidorhodamin and Rhodamin in water supply water after 92 and 200 days

Diagram 4: The changes of Uranine fluorescence (5 mg/m^3) in the course of time in samples of differently polluted waters

0.1 mg eozina /m³ ali 0.01 mg uranina /m³ pomeni, da barvila z običajnim analitskim postopkom ne določimo več, medtem ko enak procent zmanjšanja koncentracije pri koncentraciji 1 mg /m³ obeh barvil pri ovrednotenju rezultata pomeni le nekaj pre nizko količino povrnjenega barvila. Za ponazoritev odvisnosti padanja faktorja C/Co od koncentracije barvil smo izbrali vodovodno vodo s koncentracijo barvil 100,10,5,1 mg /m³ in po eno koncentracijo malo nad mejo detekcije. Ta odvisnost je prikazana na diagramu 3.

Tabela 2 Zmanjšanje fluorescence raztopin barvil po 14 in 40 dneh
Table 2 Reduction of dyes solution fluorescence after 14 and 40 days

BARVILO	C/Co	
Vzorec vode	po 14 dneh	po 40 dneh
URANIN		
Vodovodna voda in iz-		
viri v Beli Krajini	0.2 – 0.4	0.1 – 0.15
Blejsko jezero	0.1	0.01
EOZIN		
Vodovodna voda in iz-		
viri v Beli Krajini	0.1	0.01
Blejsko jezero	0.01	0.01
AMIDORODAMIN		
Vodovodna voda in iz-		
viri v Beli Krajini	0.9	0.8 – 0.9
Blejsko jezero	0.85	0.8
RODAMIN		
Vodovodna voda in iz-		
viri v Beli Krajini	0.9	0.7 – 0.8
Blejsko jezero	0.8	0.7

Pri vseh barvilih in vzorcih vode faktor C/Co pada s padajočo koncentracijo barvil oziroma z drugimi besedami povedano se zmanjševanje fluorescence procentualno večja s padajočo koncentracijo. Pri večini preiskovanih vzorcih vode je ta odvisnost večja kot pri vodovodni vodi in se relativno gledano v večini preiskovanih vzorcev pojavlja v razmerjih meja sprememb koeficientov za koncentracijo 5 mg /m³ prikazanih na diagramih 1 in 2.

V diagramih 1–3 smo podali odvisnost sprememb C/Co za daljše časovno razdobje, ki ponazarja razlike med posameznimi vzorci vode v daljšem časovnem razdobju. Za celovit prikaz je odvisnost spremembe fluorescence barvil od časa za posamezna barvila in izbrane vzorce s koncentracijo 5 mg /m³ prikazana v diagramih 4 do 7. Izbrali smo vzorce z značilnim potekom odvisnosti C/Co od časa. Za čiste in malo onesnažene vode je značilno počasno in enakomerno zmanjševanje faktorja C/Co v odvisnosti od časa. Ta primer v diagramih pona-

Diagram 5: SPREMEMBE FLUORESCENCE EOZINA (5 mg/m^3)
S ČASOM V VZORCIH RAZLIČNO ONESNAŽENIH VODA

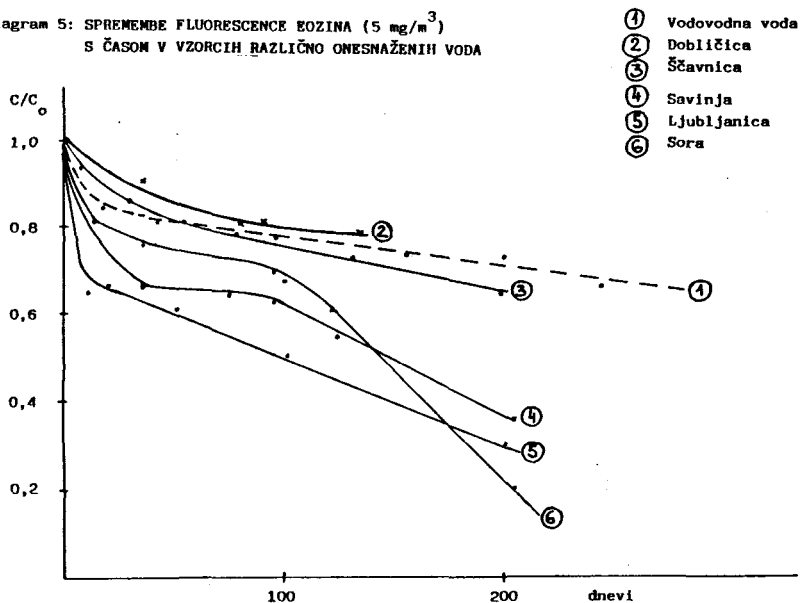


Diagram 6: SPREMEMBE FLUORESCENCE AMIDORODAMINA (5 mg/m^3)
S ČASOM V VZORCIH RAZLIČNO ONESNAŽENIH VODA

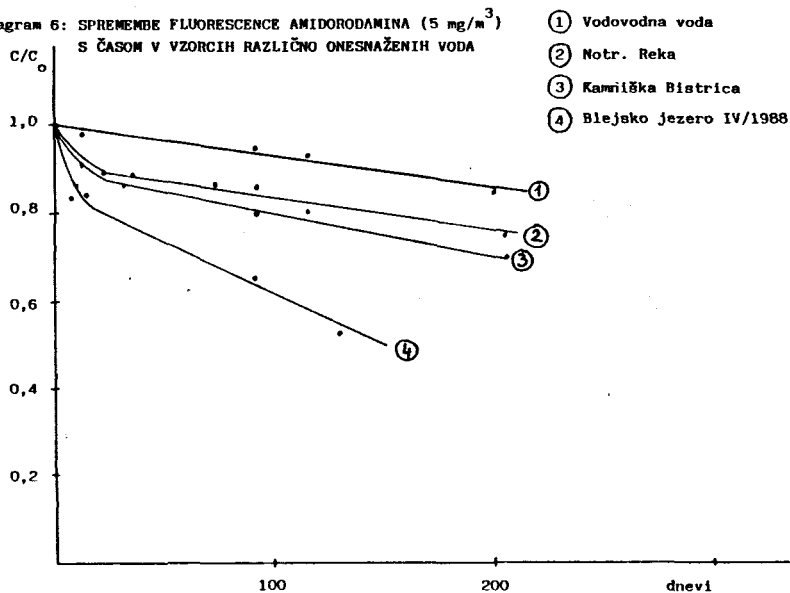


Diagram 5: The changes of Eosin fluorescence (5 mg/m^3) in the course of time in samples of differently polluted waters

Diagram 6: The changes of Amidorhodamin fluorescence (5 mg/m^3) in the course of time in samples of differently polluted waters

Diagram 7: SPREMEMBE FLUORESCENCE RODAMINA (5 mg/m^3)
S ČASOM V VZORCIH RAZLIČNO ONESNAŽENIH VODA

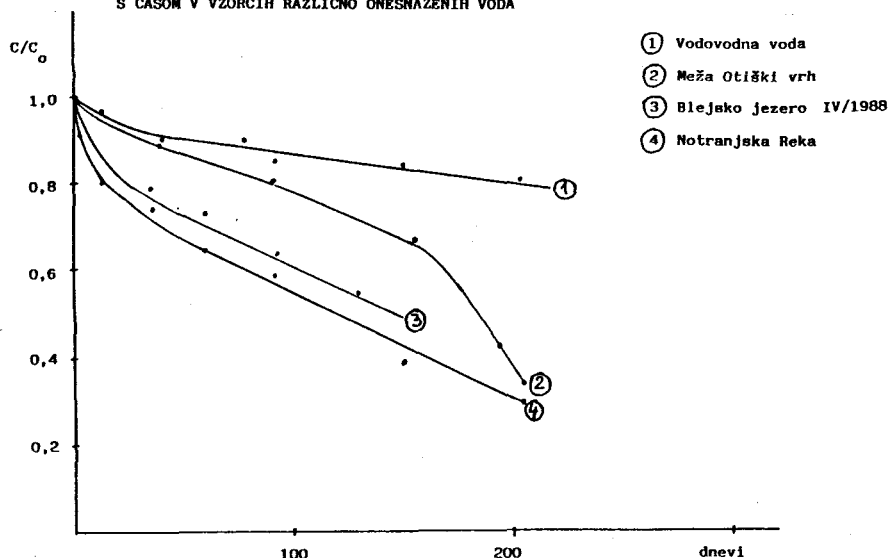


Diagram 7: The changes of Rhodamin fluorescence (5 mg/m^3) in the course of time in samples of differently polluted waters

zarja vzorec vodovodne vode za vsa barvila in vzorec izvira Dobličica za barvilo uranin in eozin. Zaradi preglednosti diagramov smo prikazali le manjše število značilnih primerov. Pri onesnaženih vodah je zmanjšanje fluorescence bistveno večje kot v čistih, z izjemo barvila eozin v Ščavnici. Oblike krivulj za posamezne vrste onesnaženja (industrijsko, komunalno) presenetljivo spominja na zrcalno obliko krivulj za biokemijsko razgradnjo kisika. Za vse močno onesnažene vode je značilen velik padec C/C_0 v prvih 10 do 20 dneh po pripravi vzorcev, kar je za vrednotenje sledilnih poskusov izvedenih v onesnaženih vodah in pri manjših hitrostih (potovanje vala daljše od 10 dni) lahko pomemben podatek.

SPREMEMBE ODVISNOSTI OD VPLIVA SVETLOBE

Raziskave odvisnosti zmanjšanja fluorescence od svetlobe smo naredili kot orientacijski zaključek meritev vpliva kemijske sestave vode. Raztopine barvil uranin, eozin, amidorodamin in rodamin v vodovodni vodi, vzorcu Blejskega jezera in izviri v Beli Krajini s koncentracijo 5 mg/m^3 smo po končanih zgoraj opisanih meritvah pustili na dnevni svetlobi in jih ponovno merili po 14 in 40 dneh. Rezultati so zbrani v tabeli 2 in prikazani s padcem koncentracije v času t napram začetni koncentraciji (C/C_0).

Iz tabele sledi, da je na vpliv svetlobe najbolj občutljivo barvilo eozin, sledi uranin, razmeroma malo pa je svetloba vplivala na raztopine barvil amidorodamin in rodamin.

VPLIV V VODI ŽIVEČE ZDRUŽBE NA SPREMEMBO FLUORESCENCE

Z raziskavami smo začeli v letu 1988, trajale bodo 3 leta, izvajamo jih v sodelovanju z Inštitutom za biologijo Univerze Edvarda Kardelja. Raziskave smo razdelili v tri dele:

- ugotavljanje vpliva bakterij
- ugotavljanje vpliva fitoplanktona
- ugotavljanje vpliva pritrjenih in na dnu živečih organizmov

Začeli smo z ugotavljanjem vpliva bakterij in delamo poskuse z 10 različnimi soji bakterij, ki jih običajno najdemo v kraških vodah. Prvi poskusi so dali dva pomembna rezultata:

- različni soji bakterij različno vplivajo na spremembo fluorescence
- fluorescenčna barvila se delno vežejo v živih bakterijah, ko odmrejo se ponovno sprostijo v vodo.

ZAKLJUČKI

Raziskave vpliva onesnaženja voda na zmanjšanje fluorescence barvil v vodi so pokazale, da so fluorescenčna barvila različno občutljiva na stopnjo in vrsto onesnaženja. Za Čiste in malo onesnažene vode je značilno počasno in enakomerno zmanjševanje fluorescence v odvisnosti od časa. Pri zmerno do močno onesnaženih vodah zmanjševanje fluorescence v odvisnosti od časa ni premosorazmerno stopnji onesnaženosti vode. Značilno je, da je pri onesnaženih vodah zmanjšanje fluorescence največje v prvih 10 dneh.

Vpliv svetlobe na zmanjšanje fluorescence barvil je mnogo večji od vpliva onesnaženja, čeprav tudi ta nikakor ni zanemarljiv pri vrednotenju sledilnih poskusov.

Na stopnjo zmanjšanja fluorescence vpliva tudi koncentracija barvil. Čim večja je koncentracija barvila, tem manjše je relativno zmanjšanje fluorescence v odvisnosti od časa.

Fluorescenčni barvili eozin in uranin sta bolj občutljivi na vpliv onesnaženja in svetlobe kot rodamin in amidorodamin. Izmed preiskovanih štirih barvil ima z ozirom na vpliv onesnaženja in svetlobe najboljše lastnosti amidorodamin.

LITERATURA

- Behrens, H., 1971: Untersuchungen zum quantitativen Nachweis von Fluoreszenzfarbstoffen bei ihrer Anwendung als hydrogische Markierstoffe. *Geol.Bavarica*, 64, 120-131, München
- Behrens, H., 1973: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Grundwasser. *Z.Deutsch.Geol.Ges.*, 124, 535-544, Hannover
- Behrens, H., Teichmann, G., 1982: Neue Ergebnisse über den Licht- einfluss auf Fluoreszenztracer, *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Hydrologie*, Nr.28, Teil I
- Gospodarič R., Habič P. et al, 1976: Underground Watertracing, Investigation in Slovenien 1972-1975
- Krivic P. et al, 1987: Sledenje podzemnih voda v zaledju izvira Rižane, *Acta carsologica*, XVI/4

Leibundgut Ch. et al, 1983: Strömungsuntersuchungen mittels Tracerversuchen im Bledsee, Universität Bern, Geographisches institut

Zupan M., 1982: Einfluss der Wasserverschmutzung an der Zerstörung der Fluoreszenztracer, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Hydrologie, Nr.28, Teil I

THE INFLUENCE OF WATER ECOSYSTEM TO FLUORESCENT DYES

Summary

The investigations of the influence of water pollution to reduction of dyes fluorescence in the water have shown that fluorescent dyes are differently sensitive for degree and kind of pollution. Slow and proportional reduction of fluorescence in the course of time is characteristic for clear and little polluted waters. When the waters are moderately to strongly polluted the fluorescence reduction, depending on time, is not proportional to the degree of water pollution. When the water is polluted the fluorescence significantly diminishes the most in the first 10 days.

The influence of light to reduction of dyes fluorescence is much bigger than the pollution influence although the last is not negligible when evaluating the water tracing tests.

The concentration of dyes influences to the degree of fluorescence reduction too. Bigger the dyes concentration, smaller the relative reduction of fluorescence in the course of time is.

Fluorescent dyes Eosin and Uranin are more sensitive to the influences of pollution and light than Rhodamin and Amidorhodamin. Among the analysed four dyes the best characteristics were found at Amidorhodamin regarding the influence of pollution and light.

MIKROBNA SLEDILA V KRAŠKI HIDROLOGIJI

MICROBIAL TRACERS IN KARST HYDROLOGY

MIHAEL BRICELJ

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12):578/579

Bricelj, Mihael: Mikrobna sledila v kraški hidrologiji

Članek obravnava pregled največkrat uporabljenih mikrobioloških sledil, ki zaobjemajo bakterije, bakterijske spore, kvasovke, bakteriofage in viruse. Mikrobo kot sledila se uporablja največkrat v svrhe ugotavljanja hitrosti vodnega toka, razredčevanja odpadnih voda v sladkih vodah in morju, zadrževalnega časa v čistilnih napravah, sledenja in porazdeljevanja podzemnih voda in pronicanja odpadne vode v vodonosne plasti.

Ključne besede: mikrobna sledila

Abstract

UDK 556.34.04(497.12):578/579

Bricelj, Mihael: Microbial tracers in karst hydrology

The article represents a review of usually used microbial tracer agents, that include bacteria, bacterial spores, yeasts, bacteriophages and viruses. Microbial tracers are used in tracing experiments in several purposes: determination of water flow velocities, dispersion of sewage water and other pollutants in fresh and sea water, determination of detention time in waste water treatment plants, tracing of partition of underground waters and contamination and penetration of sewage water to the aquifers.

Key words: microbial tracers

Naslov - Address
mag. Mihael Bricelj
Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani
Karlovska 19
YU - 61000 Ljubljana

UVOD

Mikrobna sledila uporabljamo tako kot druga sledila predvsem iz treh razlogov. Z njimi ugotavljamo hitrost vodnega toka, razredčevanje odpadnih voda in določujemo porazdelitev vode med ponori in izviri. Z mikrobnimi sledili ugotavljamo tudi uspešnost prečiščevalnih procesov v čistilnih napravah. Mikrobna sledila, ki se često uporabljajo v različnih sledilnih poskusih so bakterije, bakterijske spore, kvasovke, bakteriofagi in virusi.

ZGODOVINSKI ORIS

Uporaba mikrobnih sledil za proučevanje gibanja vode je stara metoda. Prvi raziskovalci, ki so uporabili mikrobna sledila, so bili italijanski znanstveniki z univerze v Torinu, leta 1899 (F. Abba in drugi, 1899). Da bi ugotovili ali lahko pronicnejo mikroorganizmi preko apnenčastih zemeljskih plasti v zidane vodovodne cevi za oskrbo mesta s pitno vodo, so uporabili bakterijsko sledilo. Podoben sledilni poskus je izvedel tudi nemški znanstvenik Pfuhl v okolici Strassbourga (E. Pfuhl, 1897).

V začetku našega stoletja so angleški znanstveniki uporabili neznano bakterijsko vrsto, ki je tvorila razpoznavni pigment za ugotavljanje možnosti onesnaženja vodnih virov v bližini Londona (H.M. Richards in drugi, 1907/1908). Leta 1915 je Gärtner uporabil kvasovko *Saccharomyces cerevisiae* v podobne namene (A. Gärtner in drugi, 1915). Po tem obdobju je zanimanje za mikrobiološka sledila zamrlo in ponovna uporaba teh sledil se začel po drugi svetovni vojni s poskusi Robsona, ki je sledil gibanju odpadne vode v morju v priobalnem pasu (J.E. Robson, 1956).

Pike in sodelavci so pri sledenju razredčevanja odpadnih voda v morju uporabili poleg bakterije *Serratia indica*, tudi bakterijske spore vrste *Bacillus subtilis* var. *niger* (E.B. Pike in drugi, 1969).

Niemelä in Kinnunen sta prva uporabila bakteriofage kot sledilo za določevanje vodnega toka in mešanja odpadne vode v rekah in jezerih (S. Niemelä in drugi, 1969). Wimpenny in sodelavci so izvedli primerjalni sledilni poskus v katerem so uporabili bakterijo *Serratia marcescens*, spore vrste *Bacillus subtilis* var. *niger*, kvasovki *Hansenula sp.* in *Rhodotorula glutinosa* kolifag podoben *lambda* fagu, v sledilnem poskusu določevanja hitrosti rečnega toka (J.W.T. Wimpenny in drugi, 1972). Kinnunen in Jokinen sta leta 1972 prvič uporabila bakteriofag T7 za sledenje onesnaženja vodnjaka. Dokazala sta pronicanje onesnažene vode v vodnjak na razdalji dvanajstih metrov (K. Kinnunen in drugi, 1972).

V ZDA in Veliki Britaniji so leta 1974 prvič uporabili bakteriofage pri poskusih sledenja podzemnih voda. Medtem ko sta američana uporabila kolifag T4, sta angleška raziskovalca

uporabila bakteriofag, ki se razmnožuje na vrsti *Aerobacter aerogenes* (M.W. Fletcher in drugi, 1974 ; R. Martin in drugi, 1974).

Pri poskusih sledenja možnosti onesnaženja vodnih plasti in podzemnih vodotokov so predvsem v novejšem času uporabljali na antibiotike odporne seve bakterije *Escherichia coli* (T.M. Rahe in drugi, 1978 ; W. Käss in drugi, 1983 ; L.W. Sinton, 1980 in 1986).

V sledilnih poskusih v kraških terenih švicarske Jure so uporabili poleg kolifaga tudi bakteriofag, ki se razvija v gostiteljski bakteriji *Pseudomonas fluorescens* (M. Aragno in drugi, 1982), ter bakteriofag gostiteljske vrste *Enterobacter aerogenes* (F. Flury, 1984).

V sledilnem poskusu na Peloponezu v Grčiji je bil uporabljen prvič salmonelni fag *P22H5* (M. Bricelj in drugi, 1986), ki je bil pozneje uspešno uporabljen tudi v sledilnih poskusih v Slovenski Istri (M. Bricelj in drugi, 1986 ; P. Krivic in drugi, 1987) in zaledju Bele krajine (M. Bricelj, nepublicirani rezultati).

Med virusi, ki so jih uporabili v raziskavah pronicanja vode in sledenju vodnega toka so bili predvsem poliovirusi in goveji enterovirus (W. Käss, osebni podatki).

UPORABLJENI MIKROORGANIZMI

Bakterije

Serratia marcescens (= *Bacillus prodigiosus*)

Vibrio sp.

Serratia indica

Escherichia coli

Bakterijske spore

Bacillus subtilis var. *niger*

Kvasovke

Saccharomyces cerevisiae

Hansenula sp.

Rhodotorula glutinis

Bakteriofagi

kolifagi

f2

MS2

F46

F52

F137

X174

Bakteriofagi

kolifagi

T2

T4

T7

KanataG

øMWD

aerobacter fagi

tip2

enterobacter fagi

VM1

salmonela fagi

P22H5

stafilokokus fagi

ø80

pseudomonas fagi

NeuP1

Virusi

apatogeni poliovirusi

goveji enterovirus tip 1

poliovirus tip 1 LSc

poliovirus tip II

REZULTATI

Abba in sodelavci so svoje sledilo, bakterijsko vrsto izbrali po naslednjih kriterijih : bakterija ni smela biti patogena in biti prisotna v vodovodnem sistemu pred poskusom; morala se je razmnoževati z lahkoto in razločevati so jo morali od ostalih bakterij, ki so lahko prisotne v vodovodnem sistemu. Izbrali so bakterijo *Bacillus prodigiosus*, katero danes označujemo kot vrsto *Serratia marcescens*. Poleg bakterijskega sledila so uporabili tudi fluorescentno barvilo uranin. Raziskovalci so razpršili dvašet litrov bakterijske kulture na petdesetih kvadratnih metrih nad sistemom podzemnih kanalov, ki so bili sestavni del torinskega vodovodnega sistema. Njihovi rezultati so pokazali, da bakterije zelo hitro pronicnejo do vodovodnega sistema, dvakrat hitreje kot barvilo uranin. Vendar moramo vedeti, da so tedaj določali uranin z očesom in ne spektro— ali fluorometrično, tako da je morala pronicniti velika količina barvila, da so jo lahko zaznali s prostim očesom.

Podoben rezultat je dobil tudi Pfuhl, ki je poleg bakterije vrste *Serratia marcescens* uporabil tudi bakterijsko vrsto iz rodu *Vibrio*, ki jo je poimenoval "svetleči vibrio", ker je fosforescirala. Pfuhl je v nasprotju od italijanskih znanstvenikov ugotovil, da je najhitreje sledilo uranin. Bil je tudi prvi, ki je na podlagi rezultatov pojavljanja mikrobiološkega sledila izračunal hitrost potovanja sledene vode. Uranin se je na razdalji dvanaštih metrov pojavil v pol ure, *Serratia marcescens* v eni uri in "svetlikajoči" vibrio v dveh urah.

Richards in Brincker sta uporabila nedoločeno pigmentirano bakterijsko vrsto v sledilnem poskusu v katerem sta dokazovala onesnaženje vodnjakov skozi razpoke v apnenčastih tleh. Najdaljša razdalja na kateri sta še ugotovila prisotnost bakterij je bila 3200 m, ki so jo bakterije dosegle v 80 urah. Ker sta lahko določila koncentracijo sledila sta dobila skoraj idealne krivulje pojavljanja sledila.

V svojih sledilnih poskusih je Robson uporabil bakterijo *Serratia indica*, ki je poleg tvorbe značilnega rdečega pigmenta nosila mutacijo odpornosti za antibiotike. Pri sledenju izliva odpadne vode v morje, je poleg opisane bakterije uporabil tudi ^{32}P in splave. S sledilnim poskusom so ugotovili, da je gibanje onesnažene vode odvisno od bibavice in ne od valovanja, ki ga povzročajo vetrovi. Robson se pri sledenju bolj ogreva za radioaktivni izotop, katerega lahko hitro in učinkovito določamo tudi v terenskih pogojih in tako sprotno sledimo gibanju sledila. Določevanje bakterij je sicer bolj zamudno, vendar je njihov vpliv na okolje manj škodljiv.

Pike in sodelavci so ugotovili, da spore bakterije *Bacillus subtilis* var. *niger* zelo dolgo prežive v slani vodi, vendar pa je obdelava vzorcev zelo zamudna, ker je potrebno vzorce segrevati, da spore vzklijejo v vegetativne celice, katere lahko določimo.

V primerjalnem poskusu so Wimpenny in sodelavci uporabili za sledenje rečnega toka na razdalji slabih treh kilometrov več mikrobioloških sledil. Poleg bakterije *Serratia marcescens*, spor *Bacillus subtilis* var. *niger*, kvasovk *Hansenula sp.* in *Rhodotorula glutinis*, so uporabili lambda fagu podoben kolifag bakterije *Escherichia coli*. Od vseh uporabljenih sledil so bili najbolj zadovoljni z bakteriofagom zaradi lahkega določevanja in nizkih koncentracij ozadja v vzorcih vode reke Taff, gostiteljske specifičnosti, nizke deaktivacije v laboratorijskih pogojih in njihove inertnosti v okolju, ki zaradi tega ne predstavlja nikakršne nevarnosti za zdravje živali in ljudi.

Pri odlaganju poživiljenega blata v morju so kot sledilo razprševanja na morskem dnu uporabili tehniko določevanja bakterije *Escherichia coli*, ki se v poživiljenem blatu nahaja v večjih količinah. Rezultati, ki so jih dobili so se dobro skladali z določevanjem radioaktivnih sledil v sedimentu. Vendar pa ima tehnika uporabe bakterije *Escherichia coli* kot sledila v morju to slabo lastnost, da bakteriji ne moremo slediti daljši čas, saj je njeno preživetje v slani vodi kratkotrajno (P.A. Ayres, 1977).

V raziskavah razprševanja fekalnih bakterij v zemlji tipa Dixonville, Hazelair in Philomath v Oregonu, so nakratkih razdaljah ugotovili, da so bakterije, ki so odporne na serijo različnih antibiotikov (novobiocin, nalidiksična kislina in tetraciklin) in natrijev azid, boljše sledilo kot fluoresceinsko barvilo Pyla-tel yellow (Pylam Dye Co., N.Y.), ki je v teh poskusih odpovedalo. Bakterijski sevi so se gibal s hitrostjo 1500 cm na uro, večinoma skozi makropore v zoni saturacije pod 12 cm pod površino in 150 in 200 cm. Pod to globino je prodiranje sledila onemogočil saprolit (T.M. Rahe in drugi, 1978).

V raziskavah pronicanja onesnažene in odpadne vode v aluvialne nanose na Novi Zelandiji je Sinton uporabil nepatogena seva bakterije *Escherichia coli*, ki sta nosila mutacijo odpornosti na antibiotika. Sev *E. coli* J6-2 je nosil mutacijo nezmožnosti fermentiranja laktoze in odpornosti na nalidiksično kislino, medtem ko je bil sev *E. coli* PB 922 odporen na antibiotik rifampicin. Z obema sevoma je dokazal pronicanje onesnažene vode na razdalji 920 metrov. Hitrosti pomikanja najvišje koncentracije sledila so bile 128 in 215 metrov na dan. (L. W. Sinton, 1980 in 1986).

Pronicanje uranina in bakterije *Escherichia coli* so proučevali tudi v silikatnem peščenjaku na področju Merdingen v Zvezni republiki Nemčiji v globini dveh metrov na razdalji 37,5 metra. Po začetni hitrosti 0.2 do 0.25 m na dan se je zaradi nihanja vode in osuševanja v plasti vzorčevanja naslednji vrh uranina pojavil šele po mesecu in pol, dokazali pa so tudi bakterije v sledeh. V tem primeru se je izkazal uranin za boljše sledilo kot bakterije (W. Käss in drugi, 1983).

Na območju Chalk river v Kanadi so v monzonitnem gnajsu preiskovali različna sledila: bakterijo *Escherichia coli* odporno na tetraciklin, bakterijo *Escherichia coli* markirano z ^{32}P , ^{82}Br , ^3H , natrijev fluorescein, nitrat in mikrokroglice obarvane z natrijevim fluoresceinom s premerom 0,83 in 2,0 mikrometra. Injiciranje sledil je bilo trenutno (pulzno) ali neprekinjeno (kontinuirano) in izvajano na dva načina: pasivno in aktivno. Pri pasivnem načinu so dodali v mesto injiciranja samo toliko vode, da se je sledilo odstranilo z mesta injiciranja, pri

aktivnem načinu pa so sledilu neprekinjeno dodajali določeno količino vode. Mikrokroglice in bakterije so kot sledila kazale zelo ozke in nizke sledilne krivulje, medtem ko bromid in natrijev fluorescein kažeta visoke in razpotežene krivulje ne glede na način injiciranja. Povrnjena količina bromida je predstavljala 83% injicirane količine, medtem ko je bila povrnjena količina bakterije le 9% (D.R. Champ in drugi, 1987).

Obsežno študijo uporabe bakteriofagov kot sledil predstavlja delo finskega avtorja K. Kinnunena (K. Kinnunen, 1978). V svojih sledilnih poskusih je uporabil kolifage *F52*, *F46* in *T7* in *F137*. Na rekah Kymijoki in Vantaanjoki je s fagnim sledilom sledil gibanju onesnažene vode. Volumen fagnega sledila v poskusu na reki Kymjoki je bil med 4000 in 5000 mililitri, titer pa je variiral med 2.5×10^{10} in 1.95×10^{11} . Razdalja med točko injiciranja v reko in vzorčenja je v enem primeru bila 17.2 km in v drugem med 8.670 in 8.800 metri. Na osnovi rezultatov so z linearno regresijo izračunali odnos med hitrostjo potovanja vodne mase in hitrostjo izliva odplak. Visok faktor linearne korelacije ($r=0.9997$) je dokaz, da so bakteriofagi uspešno sledilo za določevanje potovanja onesnažene vode.

V poskusu na reki Vantaanjoki je uporabil vse štiri bakteriofage, tako da je istočasno označil omenjeno reko in njene pritoke. Količina fagnega sledila je bila med 1.000 in 3.000 ml s titrom med 5.8×10^9 in 1.2×10^{11} . Hitrosti potovanja posameznih vodnih mas so primerjali z rezultati sledenja z rodaminom B. Ocenjene hitrosti na podlagi sledenja z rodaminom B so bile višje kot hitrosti ocenjene s fagi. Vendar so v primeru merjenja hitrosti s fluorescentnim barvilom ta merjenja izvajali na krajših razdaljah dveh do treh kilometrov, medtem ko so bile razdalje v primeru uporabe fagov med 24 in 46 kilometri. V tem primeru se je izkazala prednost istočasne uporabe več sledil, ki jih enostavno ločimo, kar je pri uporabi fluorescentnih barvil težje zaradi prekrivanja absorpcijskih maksimumov.

Pronicanje sledil skozi vodonosne plasti je Kinnunen sledil na modelu umetno polnjene vodnjaka na razdalji 10 metrov z vzorčnimi cevmi na približno vsaka dva metra. V sledilnem poskusu je uporabil bakteriofaga *T7* in *F137*, ter NaCl, rodamin B in ^{82}Br . Vodnjak so umetno polnili z 1 litrom vode v minuti. Rezultati sledil so pokazali, da sta do končne točke odvzema na desetih metrih prispela le ^{82}Br in fag *F137* z isto izračunano hitrostjo 0.125 m/h. Fag *T7*, NaCl in rodamin B niso pronicili do končne merilne točke. Vendar pa je bila količina zadržanega faga v plasteh mnogo večja kot količina radioaktivnega izotopa. Kinnunen predlaga uporabo bakteriofagov v te namene le v primeru, ko se radioaktivnih izotopov ne sme uporabiti.

Kinnunen je bakteriofage uporabil tudi za določevanje zadrževalnega časa v čistilni napravi za čiščenje gospodinjstskih odplak in odplak kemične industrije, kakor tu za določitev zmanjšanja titra bakteriofaga v stabilizacijskih bazenih. V ta namen je uporabil bakteriofaga *T7* in *F52*, poleg tega pa tudi spore praproti vrste *Lycopodium* obarvane s safraninom in kristal violetnim barvilom. Rdečih spor je uporabil 2 g v katerih je bilo približno 10^5 spor, zelenih spor pa je uporabil enako količino. Skupna količina fagnih delcev *T7* faga je bila $8,2 \times 10^{12}$ pfe, *F52* faga pa 1.2×10^{13} pfe. Spore praproti so zasledili v vzorcih le občasno, boljši pa so bili rezultati sledenja z bakteriofagi. Vrnjena količina faga *T7* je bila 0.023%, bakterio-

faga *F52* pa 25%. Vzroka za zelo majhno povrnjeno vrednost bakteriofaga *T7* je verjetno v tem, da je bil injiciran na drugem mestu kot bakteriofag *F52*, ki ni bil voden v apnenčasti reaktor, kjer je pH 11.0 do 11.5, ki ta bakteriofag delno deaktivira. Časi izmerjenega zadrževanja v čistilni napravi so bili krajši kot teoretično izračunani.

Fletcher in Myers sta v južnem Missouriji v kraškem predelu uporabila kolifag *T4k* ot sledilo za raziskovanje podzemnih vodotokov. Pozitivni rezultat sta dobila na razdalji ene milje. Martin in Thomas sta uporabila bakteriofag *tip2* gostiteljske bakterije *Aerobacter aerogenes* pri proučevanju podzemeljskega toka vode pod odlagališči jalovine iz premogovnikov v Welles-u. V poskusu sta uporabila 3.04×10^{11} pfe/ml. Bakteriofage sta določila še po 192 urah v vrtini na razdalji 680 metrov.

Švicarski raziskovalci Aragno, Mueller in Flury so uporabili bakteriofage v sledilnih poskusih v švicarski Juri. V prvem poskusu so uporabili *T7* kolifag in *NeuP1*, ki se razmnožuje na gostiteljski bakteriji *Pseudomonas fluorescens*. V drugem sledilnem poskusu pa so uporabili bakteriofag *VM1* gostiteljske bakterije *Enterobacter aerogenes*. Bakteriofage so sledili na razdalji 10 do 16 km. V sledilnem poskusu so dobili boljše rezultate z bakteriofagom *NeuP1*, ki je bil uporabljen na krajši sledilni razdalji. Zaključek raziskovalcev je bil, da so hitrosti potovanja bakteriofagov tudi do desetkrat hitrejša, če jih primerjajo s drugimi sledili. V poskusu z bakteriofagom *VM1* so bakteriofag določili po 16 dneh na razdalji 8300 m, kar pomeni hitrost potovanja sledila 21,6 m na uro.

Nemška raziskovalca Althaus in Jung sta uporabila kolifag *f2* za raziskave pronicanja vode skozi peščene vodonosne plasti. Bakteriofag je prepotoval v 124 dneh razdaljo 20 metrov. Pri tem pa je potrebno omeniti, da so zasledili bakteriofag na posameznih vzorčnih mestih tudi še po enem letu od injiciranja.

V sledilnih poskusih mešanja odplak v reki Cam na Novi Zelandiji je Sinton uporabil dva bakteriofaga: *ø80*, ki se razmnožuje na gostiteljski bakteriji *Staphylococcus aureus* in *øMWD*, ki se razmnožuje na *E. coli*. Kolifag *øMWD* s skupnim titrom $4,1 \times 10^{13}$ pfe je bil injiciran v reko Cam in največjo koncentracijo sledila so zasledili na oddaljenosti 6,6 km po 5 urah in 52 minutah, kar je pomenilo povprečno hitrost 1,13 km na uro. Fag *ø80* je na približno enaki razdalji dosegel hitrost 1,07 m na uro (L.W. Sinton in drugi, 1987).

V sledilnih poskusih na Peloponezu so poleg kolifagov uporabili prvič tudi salmonelni fag *P22H5*. V ponor, kamor se stekajo odpadne vode mesta Tripolisa so injicirali $3,9 \times 10^{12}$ pfe bakteriofaga "Kanata G" in ga zasledili na razdalji 29 do 31 km v izviri ob Argoškem zalivu. Bakteriofag *f2* se je pojavil v istih izviri, bil pa je injiciran 26 km od obale.

V ponor Kapsia je bil injiciran bakteriofag *P22H5* v skupni koncentraciji $5,8 \times 10^{16}$ pfe. Maksimalno vrednost so zasledili po desetih dneh na 39 km oddaljenem izviru Kiveri ob Argoškem zalivu (M. Bricelj in drugi, 1986).

Bakteriofag *P22H5* je bil uporabljen tudi pri sledenju podzemskih voda v Slovenski Istri. V ponor Smokovska vala na Gračišču so injicirali 10 l fagne juhe s skupnim titrom 4×10^{14} pfe. Bakteriofagi so se pojavili v izviru Rižane. Izračunana težiščnica vala je bila 348 ur. Izkoristek sledila je bil 15,6% (M. Bricelj in drugi, 1986).

V sledilnem poskusu na Matarskem podolju so injicirali bakteriofag *P22H5* v ponor Hotična. Skupni titer bakteriofaga je bil $4,1 \times 10^{14}$ pfe. Po devetnajstih dneh se je fagno sledilo pojavilo v izviru Rižane in naslednji dan doseglo maksimum z 27,6 pfe v mililitru vzorca. Izračunana težiščnica fagnega vala je bila 482 ur. Ob upoštevanju rezultatov laboratorijskega poskusa, v katerem so inkubirali znane koncentracije bakteriofagov v vzorcih ponorne in izvirne vode, so določili faktor znižanja koncentracije bakteriofagov in ga uporabili pri izračunu povrnjene količine sledila. Izkoristek sledila je bil med 32,6 in 52% (M. Bricelj in drugi, 1986).

V sledilnem poskusu na področju Movraške vane je bil injiciran bakteriofag *P22H5* s skupnim titrom $8,3 \times 10^{14}$ pfe. V vzorcih izvira Mlini so po štirih dneh določili maksimalno količino 654 pfe v mililitru vzorca, pri čemer je bila izračunana težiščnica fagnega vala 94,6 ure, in izkoristek sledila 5,3%. Pozitivni rezultati so bili tudi v vzorcih vode izvirnov Sopot in Ara, pri čemer je v prvem primeru maksimalna vrednost 32,4 pfe v ml in težiščnica vala 145,1 ur in v zadnjem primeru 416 pfe v ml in 80,8 ur. Sledilni poskus je bil v primeru Movraške vane izpeljan v ponor, ki je bil popolnoma zalit z vodo in je sledilo počasi pronicalo skozi plasti gline. Po dveh letih od injiciranja so zasledili ostanke sledila v vzorcih gline na globini med 7 in 12 cm (P. Krivic in drugi, v tisku).

Salmonelni fag *P22H5* je bil uporabljen tudi v sledilnem poskusu na področju Senožec za dokaz povezave med Senožskim potokom in in izviri v Tržaškem zalivu. Fagno sledilo je bilo injicirano s skupnim titrom 3×10^{15} pfe. Z MPN metodo je bil dokazan bakteriofag v vzorcih izvirnov Moščenice in Sardoč, z metodo agarskega preliva pa je bil po 1776 urah dokazan bakteriofag v vzorcu izvira Nabrežina. Delež povrnjenih bakteriofagov ob upoštevanju faktorja deaktivacije je bil 12,6% (M. Šiško, neobjavljeni rezultati).

Salmonelni fag *P22H5* je bil uporabljen tudi v dveh sledilnih poskusih na področju zaledja Bele Krajine. V ponor Kačji potok je bilo injicirano sledilo s skupnim titrom $4,2 \times 10^{15}$. Fagno sledilo je bilo odkrito v izviri Obrha in Radeščice. Vzorca izvira Obrh so bili določeni z MPN metodo. Težiščnica vala je bila 704,6 ure. Pojav fagov v izviru Radeščica je bil zasleden po sedemnajstih dneh, z vrhom devetnajsti dan z maksimalno vrednostjo 70,4 pfe v mililitru in izračunano težiščnico vala 511,4 ure. V drugem sledilnem poskusu je bil bakteriofag *P22H5* injiciran v potok Vrčice. Skupni titer bakteriofaga je bil $5,1 \times 10^{15}$ pfe, maksimalna koncentracija $2,2 \times 10^2$ se je pojavila v izviru Krupe po petih dneh. (M. Bricelj, neobjavljeni rezultati).

ZAKLJUČEK

Pri uporabi mikrobioloških sledil v različne namene je potrebno zadostiti predvsem naslednjim kriterijem:

- sledilo mora biti varno, kar v primeru mikrobni sledil pomeni, da ne sme biti patogeno.
- v vodotokih, podzemni vodi in odpadni vodi ga ne smemo zaslediti, oziroma mora biti prisotno v čim manjši količini.
- sledilo moramo z lahkoto razpoznati med običajnimi mikroorganizmi v vodi in odpadni vodi, metoda določevanja pa mora biti popolnoma izključujoča.

- sledilo mora imeti dovolj dolgo časovno dobo preživetja tako v vodi kot podzemni vodi in odplakah, ter se v teh okoljih ne sme razmnoževati.
- kjerkoli je namen sledilnega poskusa proučevanje preživetja mikroorganizma ali pronicanja skozi zemeljske plasti, mora biti sledilo zelo podobno opazovani vrsti; v primeru bakterij naj bi bil to nepatogeni sev, sicer patogene bakterije.
- mikrobno sledilo se mora z lahkoto in čim ceneje namnožiti do zahtevanih koncentracij, ki so potrebne za izvedbo sledilnega poskusa.

Kadarkoli vnašamo v okolje organizme, ki smo jih namnožili v laboratoriju in obstajajo možnosti, da preidejo v vodo za oskrbo prebivalstva so kriteriji varnosti najvažnejši. Pri mikroorganizmih sta dva važna kriterija varnosti pri izbiri mikrobnega sledila. Prvi je patogenost sledila. V tem primeru odpadejo določene vrste, ki so jih raziskovalci uporabljali za sledenje. To sta predvsem *Serratia marcescens*, katero so osamili v primerih septikemij (J.T. Davis in drugi, 1970) in *Bacillus subtilis*, ki je primarni in sekundarni infektivni agens pri vnetjih oči, urinarnega trakta, pljučnic in septikemij (R. Cox, 1959). Poleg tega pa so nekateri sevi *E. coli* tudi patogeni in jih često najdemo kot povzročitelje infekcij v bolnicah (S. A. Sattar in drugi, 1972).

Drugi važni kriterij pa se tiče predvsem uporabe na različne antibiotike odpornih bakterijskih sevov. Markerji za odpornost na različne antibiotike se morajo nahajati na kromosomu, ne pa na plazmidu, kajti ta se lahko zelo hitro prenese na druge bakterije, ki zadobijo nove lastnosti (W.H. Smith, 1969). Bakterije torej ne smejo vsebovati R-faktorjev in imeti patogeni serotip in morajo biti genetsko dobro preiskane. Če si ogledamo z zgoraj omenjenih kriterijev posamezna mikrobna sledila, potem lahko zatrdimo, da so najbolj varna sledila bakteriofagi in nepatogeni sevi bakterije *Escherichia coli*.

Predvsem v sledenju porazdelitve in redčenja odpadne vode pa je važno tudi visoko razmerje med sledilom in ozadjem v sledilnem poskusu. Pri tem je predvsem pri izbiri bakteriofagov potrebno izbrati pravi bakteriofag, ki ima nizko ozadje ali pa ga sploh nima. V primeru bakteriofagov angleška avtorja (N.D. Seeley in S. B. Primrose, 1982) odklanjata uporabo bakteriofagov bakterij *Escherichia coli* in *Pseudomonas aeruginosa*, kajti njune bakteriofage najdemo v okolju večkrat v večjih količinah in predlagata uporabo redkih bakteriofagov bakterije *Salmonella typhimurium*, kar se je izkazalo za zelo uspešno (M. Bricelj in drugi, 1986). Poleg tega pa so bakteriofagi pomembni kot sledila predvsem v primerih, ko je potrebno simulirati propadanje enteričnih virusov v okolju.

V vseh dokumentiranih sledenjih z mikroorganizmi je večina rezultatov predvsem podana z razdaljo in hitrostjo premikanja ali pronicanja sledila, medtem ko je zelo malo podatkov o izkoristkih sledil, kar je predvsem pomembno pri sledenju podzemnih vodotokov. Prav tako je malo rezultatov o propadanju mikrobioloških sledil med samim sledenjem in vplivom različnih faktorjev na zmanjševanje količine sledila. Za ovrednotenje uporabnosti mikrobioloških sledil so predvsem pomembne raziskave sočasnih sledenj z drugimi sledili, ki pa so zelo redke in se opravljajo šele v zadnjem času (M. Bricelj, neobjavljeni podatki).

LITERATURA

- Abba, F., Orlandi, E. & Rondelli, A., 1899: Ueber die Filtrationskraft des Bodens und die Forschwemmung von Bakterien durch das Grundwasser. *Z. Hyg. InfektKrankh.* 31, 66-84.
- Althaus H. & K.D. Jung, 1985: Feldversuche in Mittelsandigen Grundwasserleiter Haltern zur Feststellung der Lebensdauer und des Transportverhaltens von Bakterien und Viren in Grundwasserleitern. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Bericht 1 und 2.
- Aragno M. & I. Mueller, 1982: Première expériences de traçages des eaux souterraines dans le karst du Jura neuchâtelois (Suisse) à l'aide de bactériophages. *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie*, 4, 59-81.
- Ayres P.A., 1977: The use of Faecal bacteria as a Tracer for Sewage Sludge Disposal in the Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 8,(12),283-285.
- Bricelj M. & P. Krivic, 1986: Karstwassermarkierung mit bakteriofagen. IV. Internationales Hydro-mikrobiologisches Symposium, Piest'any, 3.-6. Juni 1986. Ed. I.Daubner, VEDA, Verlage der Slowakische Akademie der Wissenschaften, Bratislava, 285-289.
- Bricelj M., G. Kosi, P. Krivic, 1986: Tracing of underground karstic waters with phage P22H5. Fourth International Symposium on Microbial Ecology, Ljubljana, August 24 - 28
- Bricelj M., G. Kosi & D. Vrhovšek, 1986: Tracing with Salmonella-phage P22H5. In *Karst Hydrogeology of the Central and eastern peloponnesus (Greece)*, ed. A. Morfis & H. Zojer, Springer-verlag Wien-New York, 269-271.
- Cox, R., G. Sockwell, B. Landers, 1959: *Bacillus subtilis* septicaemia. *New England Journal of Medicine*, 261, 894-896.
- Davis, J.T., Foltz E., Blakemore, W.S., 1970: *Serratia marcescens*. A pathogen of increasing clinical importance. *Journal of American Medical Association*, 214, 2190-2192.
- Fletcher, M.W. & Myers, R.L., 1974: Groundwater tracing in karst terrain using bacteriophage T4. The Annual meeting of the American Society for Microbiology.
- Flury F., 1984: Multitraçage sur le plateau de Bure (Ajoie, Ju) à l'aide de bactériophages et de traçeurs fluorescents. *Bulletin du centre d'Hydrogéologie*, 5, 91-105.
- Gärtner, A., 1915: *Die Hygiene des Wassers*, 310 p. Braunschweig (Ref. Schubert, R.H.W., 1971)
- Käss W., R. Ritter & C. Sacré, 1983: Lebensdauer und Transport von Bakterien in typischen Grundwasserleitern-Oberrheinische Schotterebene. *DVGW-Schriftenreihe Wasser*, 35, 127-137.
- Kinnunen K., 1978: Tracing water movement by means of *Escherichia coli* bacteriophages. Publ. 25 of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, Helsinki, 50 pp.
- Kinnunen K. & Jokinen, O., 1972: The use of bacteriophages in marking groundwater. *Vesitalous*, 1/72, 16-17.
- Krivic Primož, Mihael Bricelj, Niko Trišič in Martina Zupan, 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju Rižane. *Acta carsologica*, XVI/4, 83-104.
- Martin R. & A. Thomas, 1974: An Example of the Use of Bacteriophage as a Groundwater tracer. *Journal of Hydrology*, 23, 73-78.
- Niemelä, S. & Kinnunen, K., 1968: An experiment with *Escherichia coli* T bacteriophage as tracer in river flow studies. *Geophysica*, 10, 121-124.
- Pfuhl, E., 1897: Ueber die Verschleppung von Bakterien durch das Grundwasser. *Z. Hyg. InfektKrankh.* 25, 549-554.
- Pike, E.B., Bufton, A.W.J. & Gould, D.J., 1969: The use of *Serratia indica* and *Bacillus subtilis* var. niger spores for tracing sewage dispersion in the sea. *J. Appl. Bact.*, 32, 206-216.

- Rahe T.M., C. Hagedorn, E.L. McCoy & G.F. Kling, 1978: Transport of Antibiotic-resistant *Escherichia coli* Through Western Oregon Hillslope Soils Under Conditions of Saturated Flow. *J. Environ. Qual.*, 7(4), 487-494.
- Richards, H.M. & Brincker, J.A.H., 1907-1908: The potential danger of water derived from wells in the chalk. *Proc. R. Soc. Med.*, 1, 191-203.
- Robson, J.E., 1956: A bacterial method for tracing sewage pollution. *J. Appl. Bact.*, 19, 243-246
- Sattar S.A., E.J. Synek, J.C.N. Westwood, P. Neals, 1972: Hazards in microbial tracers: Reduction in risk by the use of *Bacillus stearothermophilus* spores in aerobiology. *Applied Microbiology*, 23(6), 1953-1959.
- Schubert, R.H.W., 1971: Der Nachweis von Oberflächenwasser-Grundwasser-Kurzschlüssen und unterirdischen Zusammenhängen mit Hilfe genetisch markierten Bakterien. *Städtehygiene*, 22, 197-202
- Seely, N.D., S.B. Primrose, 1982: The Isolation of Bacteriophage from the Environment. *Journal of Applied Bacteriology*, 53, 1-17.
- Sinton L.W. & S.B. Ching, 1987: An Evaluation of two Bacteriophages as Sewage tracers. *Water, Air, and Soil Pollution*, 35, 347-356.
- Sinton L.W., 1980: Two Antibiotic-Resistant Strains of *Escherichia coli* for Tracing the Movement of Sewage in Groundwater. *Journal of hydrology (N.Z.)*, 19(2), 119-130.
- Sinton L.W., 1986: Microbial Contamination of Alluvial gravel Aquifers by Septic Tank Effluent. *Water, Air, and Soil Pollution*, 28, 407-425.
- Smith, W.H., 1969: Transfer of antibiotic resistance from animal and human strains of *Escherichia coli* to resident *E. coli* in the alimentary tract of man. *The Lancet* June, 1969, 1174-1176.
- Wimpenny, J.W.T., Cotton, N. & Statham, M., 1972: Microbes as tracers of water movement. *Wat. res.*, 6, 731-739.

MICROBIAL TRACERS IN KARST HYDROLOGY

Summary

Microbial tracers were used for the first time at the end of 19th century for the determination of the possible contamination of water distribution network with pathogenic microbes of several towns. Bacteria and yeasts were the commonly used microbes as tracer agents. There was a new interest in microbial tracers in the 1950's when they were rediscovered. The new tracers were introduced especially bacterial spores and bacteriophages. Microbial tracers were used for several purposes: dispersion of wastewaters in freshwaters and sea, determination of water movement velocities, determination of detention time in waste water treatment plants, penetration of pollutants into aquifers and tracing of underground water connections in karstic regions. The main criterion in the use of microbial tracers is safety aspect. For this reason any contamination of water resources with pathogenic microorganisms, especially bacteria must be avoided. As tracer agents only non-pathogenic bacteria strains could be used, carrying no extrachromosomal R-factors and if used antibiotic- resistance markers should be incorporated into bacterial chromosome. From the safety aspect, apart from the non-pathogenic strains of *Escherichia coli*, bacteriophages represent the most convenient tracer agent. In tracing experiments in highly polluted waters the selection of appropriate phage-host system is crucial. Coliphages and phages of pseudomonads are suggested to reject, because of likely background interference and phages of mouse salmonella are most promising.

YU ISSN 0583 – 6050
ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK
XVIII
1989

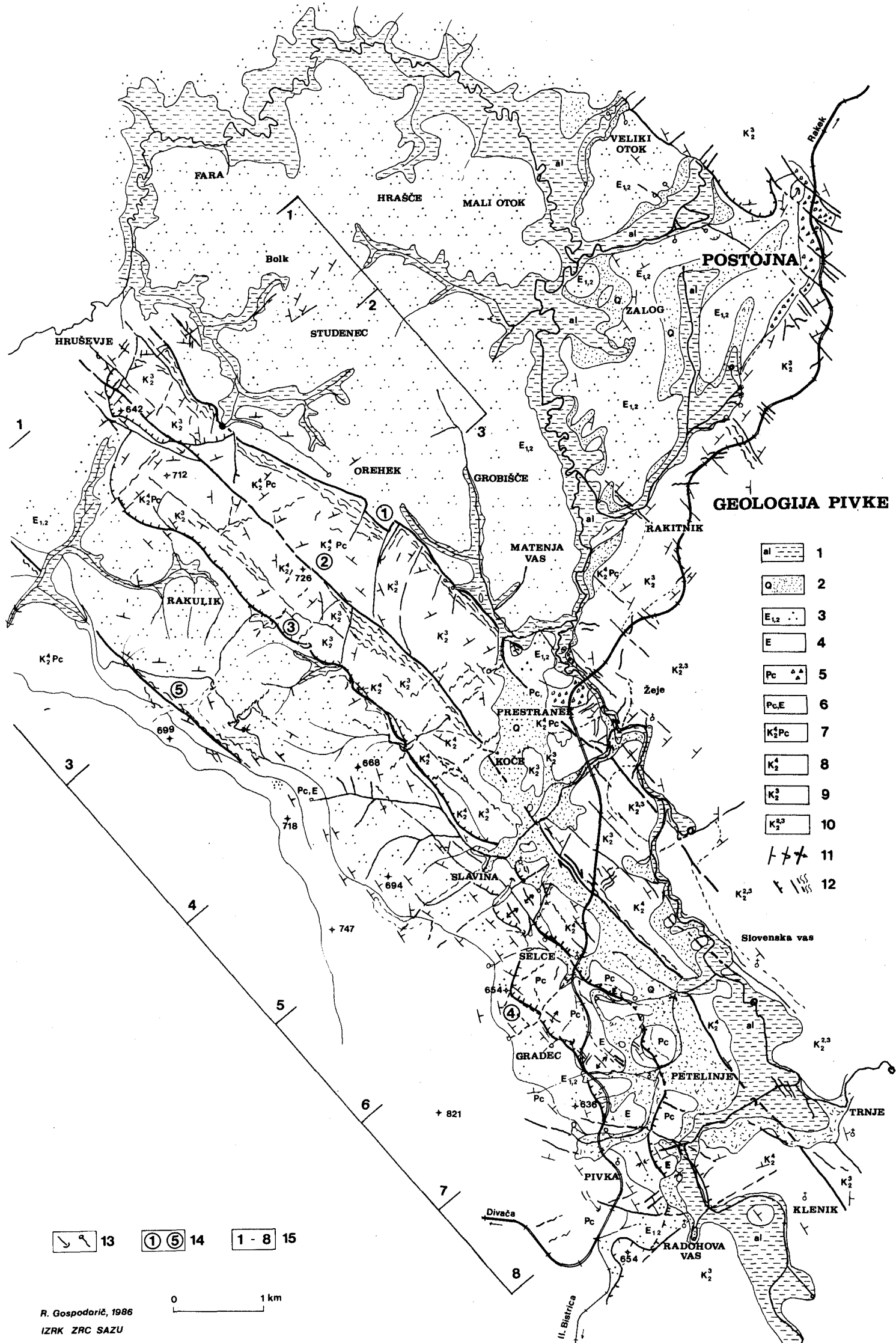
Izdala
Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Tehnična ureditev s programom Steve P. Jakopina
Milojka Žalik Huzjan
Natisnila
Tiskarna Pleško
v Ljubljani
1989

Naklada 1200 izvodov

Tabela 1: Podatki o fizikalno kemijskih lastnostih Pivke in njenih pritokov

Mesto	T °C	Scm ⁻¹	pH	Karb.	Ca	Mg	Ca+Mg	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	BPK ₅ mgO ₂ l ⁻¹	O ₂	Nasiče- nost O ₂ %	Raz- red
28/1-1985													
Radohova vas	5,0	375	8,03	4,0	3,04	1,00	4,04	0,09	0,06	0,1	9,78	80	
Petelinje	5,4	416	8,16	4,24	4,00	0,30	4,30	0,35	0,31	0,1	9,37	77	2.
Slovenska vas	5,8	359	8,06	3,92	3,20	0,76	3,96	0,07	0,03	0,05	10,51	87	2.
Štrukljev m.	5,6	357	8,07	3,92	3,32	0,60	3,92	0,08	0,03	-	10,89	90	1.
Slavina	4,1	177	7,89	1,80	1,72	0,14	1,86	0,05	0,01	0,7	10,27	82	2.
Prestranek	6,4	346	8,15	3,80	3,20	0,64	3,84	0,09	0,057	0,04	11,09	93	1.
Matenja v.	6,0	340	8,01	3,68	3,24	0,46	3,70	0,06	0,04	0,65	11,16	93	1.
Stržen	5,6	396	7,89	3,32	2,80	0,52	3,32	0,68	0,17	3,55	8,55	71	3.
Nanoščica	4,4	241	8,00	2,40	2,08	0,36	2,44	0,08	0,07	0,3	10,82	87	2.
Pasje hiše	5,5	337	8,14	3,44	3,16	0,34	3,50	0,17	0,06	1,1	10,41	86	2.
Postojn.jama	4,9	295	8,11	3,00	2,82	0,26	3,08	0,18	0,12	1,2	10,49	85	2.
Žeje	9,3	333	8,08	3,60	3,22	0,44	3,66	0,06	0,05	0,1	10,9	99	1.
Trnski izvir	6,2	322	7,90	3,56	3,32	0,26	3,58	0,06	0,04	0,55	11,97	100	1.
24/5-1985													
Radoh.vas	10,2	450	7,85	4,76	3,96	0,82	4,78	0,12	0,04	0,03	8,96	83	2.
Kanal.Pivka	11,0	1250	7,52	4,48	6,80	0,12	6,92	6,50	0,57	68,4	1,44	14	?
Sloven.vas	10,2	482	7,62	4,62	3,92	0,70	4,62	0,12	0,04	-	9,12	84	2.
Petelinje	11,2	755	7,73	6,52	3,96	1,04	5,00	0,71	0,26	2280	4,05	39	4.
Štrukljev m.	10,5	471	7,76	4,60	4,00	0,62	4,62	0,13	0,03	0,04	9,66	90	1.
Sl.potok	10,0	273	7,76	2,54	2,28	0,28	2,56	0,08	0,07	-	10,66	98	1.
Žejški iz.	11,9	364	7,53	3,62	3,20	0,44	3,64	0,08	0,04	-	8,77	84	2.
Prestranek	11,3	400	7,75	3,90	3,46	0,42	3,88	0,13	0,04	-	9,78	93	1.
Matenja vas	11,2	397	7,90	3,92	3,44	0,48	3,92	0,14	0,05	0,16	9,48	90	1.
Rakitnik	11,5	450	7,55	4,00	3,48	0,54	4,02	0,37	0,31	57,6	5,11	49	4.
Nanoščica	14,8	374	7,91	3,42	3,10	0,34	3,44	0,17	0,06	-	7,07	73	3.
Pasje hiše	12,0	400	7,88	3,82	3,36	0,48	3,88	0,17	0,06	0,7	8,96	86	2.
Postojn.j.	13,2	389	7,81	3,78	3,28	0,52	3,80	0,51	0,08	0,02	9,31	92	1.
2/8-1985													
Slavenski p	13,8	507	7,22	4,34	3,60	0,32	3,92	0,48	0,41	31,0	1,41	15	4.
Stržen	15,7	656	6,99	5,74	3,66	0,42	4,08	0,60	0,50	44,7	2,04	22	4.
Nanoščica	16,3	374	7,90	3,40	3,06	0,36	3,42	0,20	0,16	18,5	8,84	93	4.
Pasje hiše	17,3	460	7,88	4,04	3,44	0,52	4,06	0,17	0,11	10,3	7,28	83	4.
Postojn.j.	18,0	455	7,89	4,02	3,44	0,56	4,00	0,18	0,11	29,2	5,19	60	4.



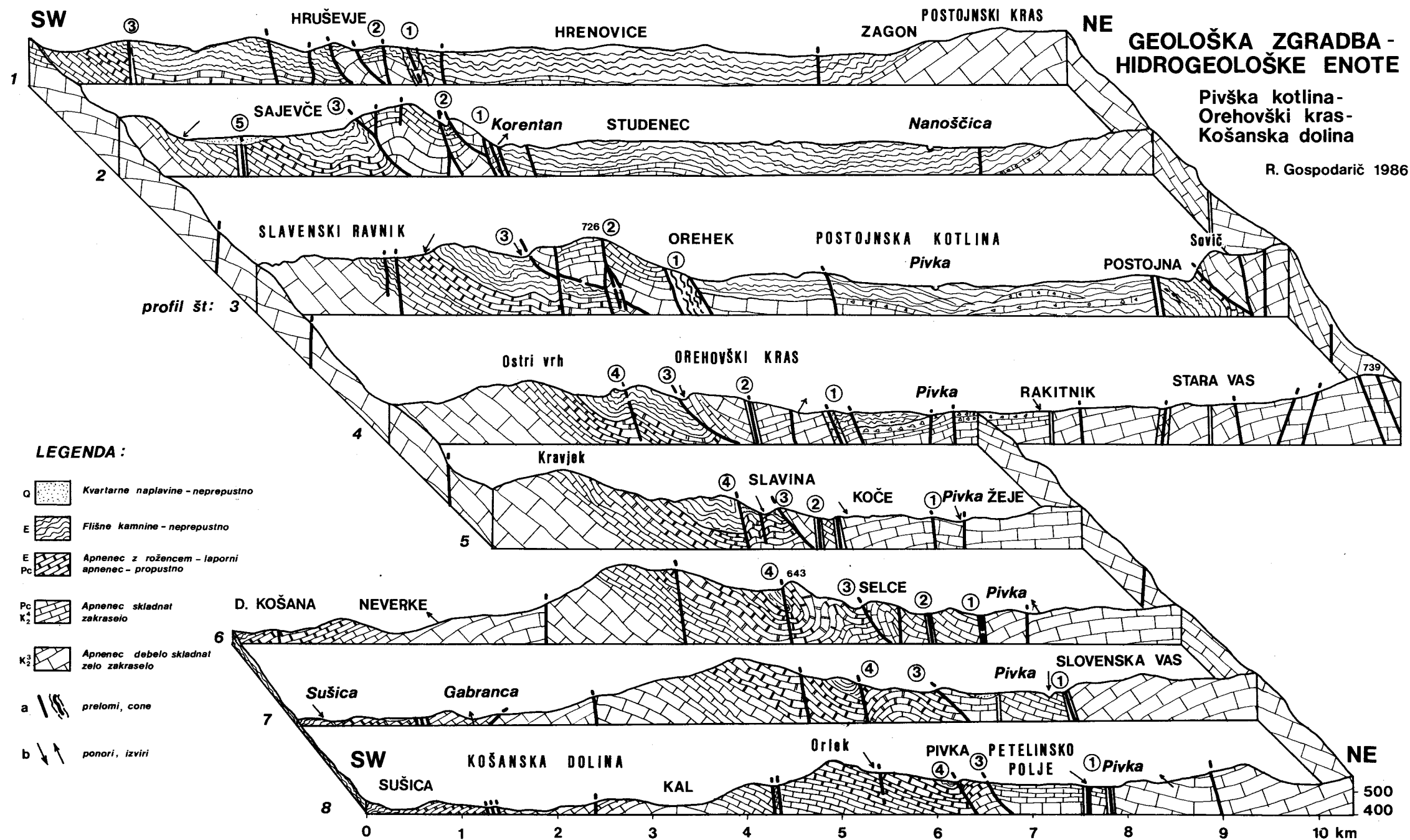


Tabela 1 – Osnovni podatki o opazovanju padavin v Postojni (januar 1988 – januar 1989)

datum	ura	T	SEP	pH	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca+Mg
		1	2		3	4	5	6
1988								
21.1.	10–7	3.2	25	4.0	1.5	–	5.0	4.0
25.1.	7–14	5.6	45	4.0	2.0	1.7	–	3.0
25.–26.1.	15–7	10.6	14	4.3	0.7	0.6	–	3.0
2.2.	cel dan	4.3	34	3.7	1.2	0.6	3.0	2.0
10.2.	"	8.3	88	3.8	3.7	–	–	7.0
12.2.	11–15	15.3	14	4.2	0.0	1.0	2.0	1.5
12.–13.2.	15–11	15.9*	16	4.1	0.1	0.8	2.0	1.0
23.–24.2.	15–n	0.4	72	4.0	6.0	1.4	8.5	3.0
"	noč	13.1*	32	4.2	2.0	0.5	4.5	3.0
16.–17.3.		6.8	43	4.7	–	–	–	9.0
21.–22.3.	14–7	7.1	72	3.7	0.7	–	6.0	5.0
22.3.	7–13	8.0	58	3.2	0.4	–	6.5	3.0
22.–23.3.	13–7	4.9	22	3.4	0.2	0.3	2.5	3.0
31.3.	7–10	18.5	10	4.6	1.0	–	–	2.0
"	10–14	8.7	24	4.5	0.2	–	2.0	–
7.4.	10–13	18.9	27	5.6	–	–	3.0	8.0
"	13–7	18.3	22	4.7	–	–	2.0	7.0
13.4.	9–13	13.1	42	4.1	2.0	–	–	–
20.–21.4.	13–7	10.4	95	3.6	0.8	–	5.0	6.0
19.5.	7–16	14.6	21	5.9	1.3	–	3.0	8.0
19.–20.5.	17–7	14.2	30	6.8	1.4	–	4.0	9.0
27.5.	13–14	15.5	33	5.0	1.9	–	–	8.0
6.–7.6.	12–7	15.6	24	4.4	0.6	0.2	0.0	4.0
8.6.	13–14	17.3	27	4.3	1.0	–	–	4.0
23.8.	7–12	15.6	13	6.6	0.4	0.0	3.0	5.0
23.–24.8.	18–7	14.9	39	5.0	–	–	–	–
24.8.	dop.	18.1	79	4.5	2.4	–	–	–
25.–26.8.	21–7	12.8	10	5.1	0.6	–	–	3.0
2.9.	13–14	18.1	28	5.2	–	0.0	6.5	5.0
2.–5.9.	15–7	17.8	27	6.3	–	1.7	–	5.0
13.9.	14–15	15.7	28	3.5	–	–	4.0	–
14.9.	7–15	9.3	56	6.4	0.5	–	–	6.0
15.–16.9.	7–7	10.4	28	4.3	0.2	–	3.0	2.0
20.10.	8–14	13.4	6	4.2	0.1	–	2.0	0.0
20.–21.11.	noč	24.9*	21	5.8	2.1	–	10.0	4.5
2.12.	11–14	3.5	22	4.0	1.7	–	6.0	6.0
2.–3.12.	15–13	–	35	3.8	4.1	0.0	28.0	3.5
3.–4.12.	13–10	–	37	3.6	3.5	0.0	24.0	6.4
jan.1989 – brez padavin!								
Prečno	34.7	4.56	1.43	0.63	6.2	4.5		
STD	21.9	0.93	1.37	0.62	6.62	2.39		
Min	6	3.2	0.0	0.0	0.0	0.		
Max	95	6.8	6.0	1.7	28	9.0		
N	38	38	31	14	26	32		

1 temperatura v °C

2 SEP v uS cm⁻¹3 nitriti v mgNO₂⁻ l⁻¹4 kloridi v mgCl⁻ l⁻¹5 sulfati v mgSO₄²⁻ l⁻¹6 celokupna trdota v mekv l⁻¹

Tabela 2 – PISANI ROV – agresivna stena: zgoraj, spodaj (točka 22)

Datum	pretok 1	T 2	SEP 3	pH	Karb. 4	Ca 5	Ca+Mg 6	Cl ⁻ 7	NO ₃ ⁻ 8	SO ₄ ²⁻ 9	PO ₄ ³⁻ 10
1988											
25.2. zg		8.3	203	8.2	1.94	1.96	2.12	2	0.3	9.3	0.05
sp		8.3	196	7.9	1.84	1.94	2.12	2	0.3	8.0	0.18
29.3. zg		8.5	203	8.3	1.94	1.96	2.16	3	0.1	8.0	0.02
sp		8.5	206	8.3	1.98	1.96	2.29	3	0.1	8.5	0.01
5.5. zg		8.4	220	8.0	2.12	2.2	2.32	1	0.3	7.0	0.21
sp		8.6	220	8.0	2.12	2.2	2.32	1	0.3	7.0	0.2
27.7. zg		8.3	226	7.4	2.26	2.32	2.4	1	0.6	18.5	0.02
sp		8.3	248	7.3	2.42	2.49	2.61	1	0.7	18.5	0.01
27.7-2.8.		8.3	225	7.4	2.24	2.30	2.46	1	0.1	7.5	0.01
		8.3	249	7.4	2.44	2.49	2.65	1	0.2	7.0	0.01
15.-23.8.	2	8.4	245	7.8	2.36	2.50	2.56	1	2.2	9.5	0.01
		8.4	239	7.7	2.32	2.42	2.50	1	0.7	8.2	0.03
25.-26.8. sp-ni!	5	9.9	248	7.7	2.42	2.54	2.68	1	2.4	8.5	0.04
15.9.	460	9.5	250	8.0	2.40	-	2.66	-	0.7	7.5	0.03
		9.4	249	7.9	2.40	2.56	2.60	1	0.7	8.0	0.03
12.-13.	18	8.4	206	8.4	1.92	2.10	2.17	1	0.8	7.5	0.04
12.		8.7	207	8.4	1.93	2.10	2.16	1	1.0	9.0	0.01
19.-24.	1.2	8.5	204	8.4	1.90	2.06	2.16	1	0.8	7.0	0.02
1.1989		8.6	200	8.4	1.92	2.06	2.18	1	0.8	7.0	0.02
Prečno					2.15		2.37		0.63	8.0	
N					10		10		10	10	
STD					0.21						

1 pretok v ml min⁻¹

2 temperatura v °C

3 SEP v uS cm⁻¹4 karbonatna trdota v mekv l⁻¹

5 kalcijeva trdota "

6 celokupna trdota "

7 kloridi v mgCl⁻ l⁻¹8 nitrati v mgNO₃⁻ l⁻¹9 sulfati v mgSO₄²⁻ l⁻¹10 o-fosfati v mgPO₄³⁻ l⁻¹

Tabela 5 – LEPE JAME – agresivni kamin

Datum	pretok T		SEP	pH	Karb.	Ca	Ca+Mg	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
1988											
5.5.	85	10.2	235	7.9	2.16	2.34	2.46	1	4.8	8.0	0.19
19.-27.7.	n	10.0	233	8.0	2.10	2.30	2.44	1	2.7	10.5	0.03
27.7.-2.8	n	10.1	230	8.0	2.04	2.30	2.40	1	0.1	10.0	0.01
15.-23.8.		10.5	226	8.0	2.06	2.28	2.40	1	0.5	19.0	0.03
25.-26.8.	5	10.5	219	8.0	2.00	2.16	2.26	0	0.6	17.3	0.03
9.-12.9.	18	10.7	240	7.7	2.20	2.46	2.58	1	-	10.0	-
12.-15.9.	10	11.1	240	7.5	2.20	2.42	2.50	1	0.5	8.0	0.03
15.-26.9.	120	10.6	239	7.9	2.16	2.38	2.52	1	0.9	11.0	0.03
12.-13.12.	12	10.1	214	8.6	1.88	2.14	2.27	1	4.7	9.0	0.01
16.-19.	n	10.1	217	8.3	1.88	2.12	2.26	1	2.9	10.5	0.03
1.1989											
prečno					2.07	2.41	2.0	11.3			
N					10	10	9	10			
STD					0.12	0.11	1.9	3.8			
min					1.86	2.26	0.1	8			
max					2.2	2.58	4.8	19			

1 pretok v ml min⁻¹ 6 celokupna trdota "
 2 temperatura v °C 7 kloridi v mgCl l⁻¹
 3 SEP v uS cm⁻¹ 8 nitrati v mgNO₃⁻ l⁻¹
 4 karbonatna trdota v mekv l⁻¹ 9 sulfati v mgSO₄²⁻ l⁻¹
 5 kalcijeva trdota " 10 o-fosfati mgPO₄³⁻ l⁻¹
 n -nizek pretok

Tabela 6 – LEPE JAME – izločujoči pred(p), za(z) kaminom

Datum	pretok T		SEP	pH	Karb. Ca		Ca+Mg	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
1988											
15.-23.8.	p	10.8	307	8.1	2.89	3.06	3.42	1	0.5	9.5	0.04
9.- p	14	10.6	321	7.9	3.06	3.36	3.44	1	-	10.0	-
12.9. z	-	10.7	385	8.1	3.66	4.02	4.01	1	-	12.2	-
12.- p	10	10.9	331	8.1	3.20	3.46	3.54	1	0.5	10.5	0.03
15.9. z	1	-	393	8.1	3.80	4.14	4.32	1	0.5	15.0	0.02
15.- p	40	10.7	331	7.9	3.22	3.46	3.64	1	0.8	12.0	0.03
26.9. z	20	10.4	381	7.8	3.68	4.00	4.18	1	0.7	16.0	0.03
12.- p	10	10.2	327	8.5	3.16	3.44	3.55	1	2.8	10.0	0.01
13.12.z	7	10.2	358	8.6	3.40	3.78	3.88	1	3.7	13.0	0.01
16.- p	1.2	10.2	360	8.3	3.44	3.78	3.86	1	3.1	11.5	0.03
19.1.89	z	10.1	360	8.3	3.44	3.78	3.86	1	3.1	11.5	0.03
prečno	p				3.1		3.5	1.4	10.5		
	z				3.44		4.05	2.0	13.5		

1 pretok v ml min⁻¹

2 temperatura v °C

3 SEP v uS cm⁻¹4 karbonatna trdota v mekv l⁻¹

5 kalcijeva trdota "

6 celokupna trdota "

7 kloridi v mgCl⁻ l⁻¹8 nitrati v mgNO₃⁻ l⁻¹9 sulfati v mgSO₄²⁻ l⁻¹10 o-fosfati mgPO₄³⁻ l⁻¹

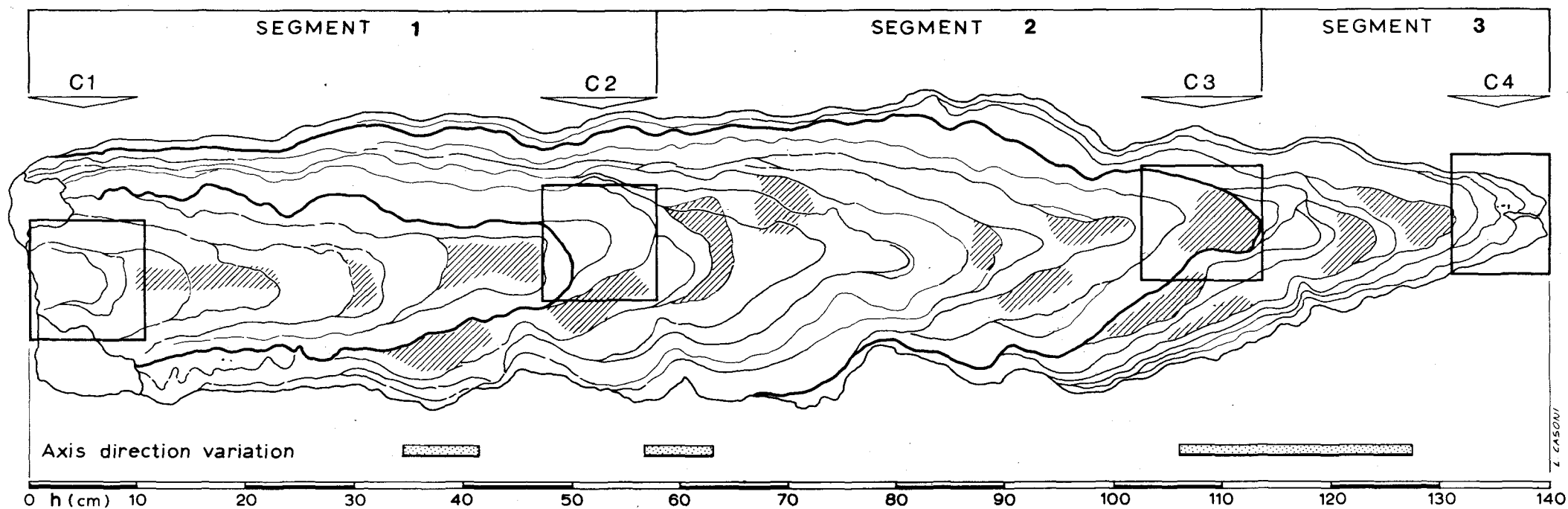


Fig.1 Sezione trasversale della stalagmite con riportati gli elementi morfologici essenziali. In riguardo i punti di campionamento per le datazioni, in tratteggio le aree a elevata porosità, marcate le bande di accrescimento ad elevato cromatismo, segnati i 3 tratti fondamentali riconosciuti.

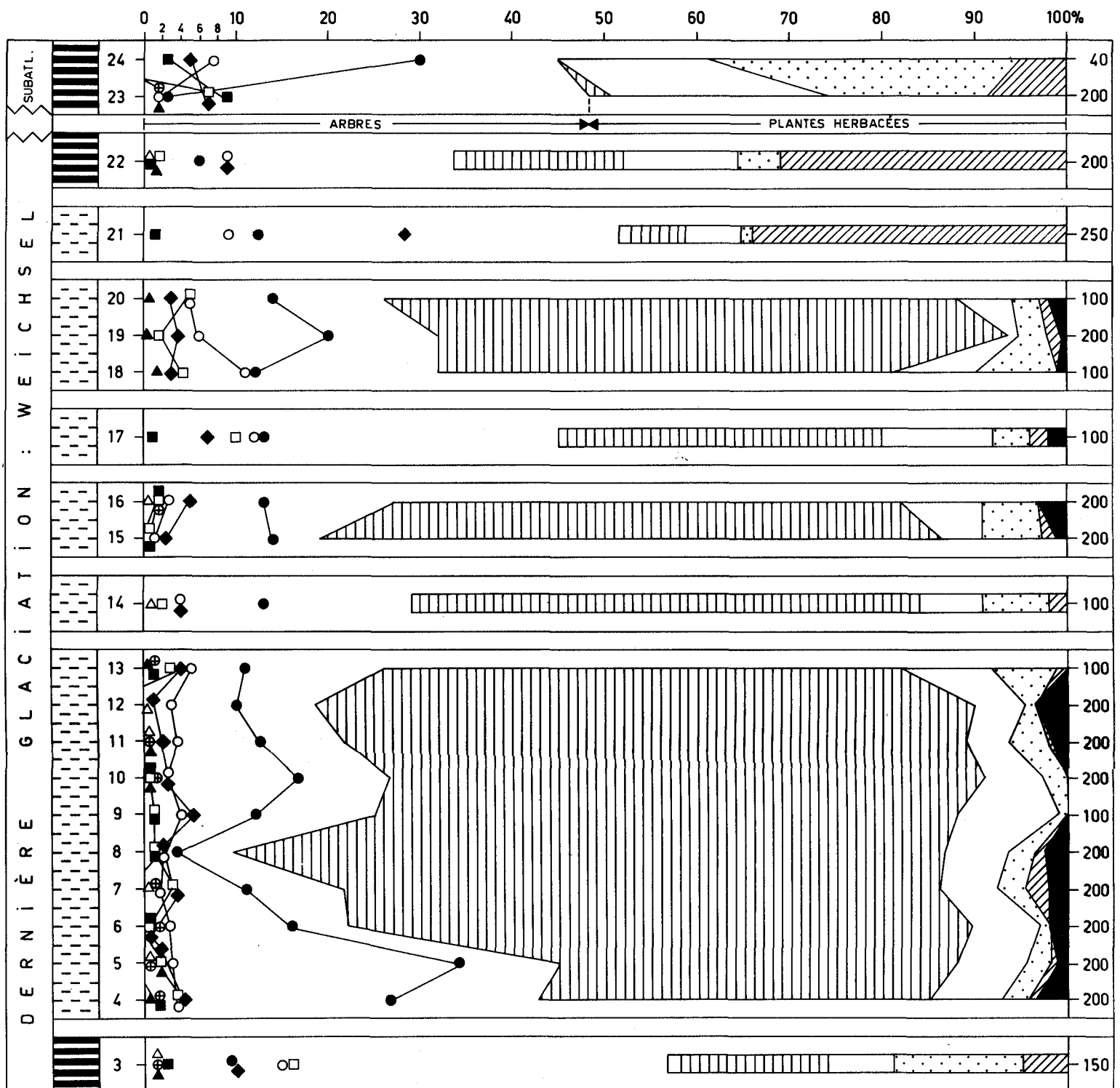
Sl.1 Prečni prerez stalagmita s pomembnejšimi morfološkimi elementi. Označene so točke, kjer so bili vzeti vzorci za datacijo, področja večje poroznosti, pasovi rasti z višjim kromatizmom in trije preučeni osnovni deli

ARBRE, Grotte de la Vilaine Source

Coupe 1

Sédiments et concrétions en place

Analyses : B. BASTIN



Concrétions remaniées

