

12-8-1992

## Acta carsologica, Volume 21, December 8, 1992

Peter Habič

*Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU*

Follow this and additional works at: [https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_articles](https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles)

---

### Recommended Citation

Habič, Peter, "Acta carsologica, Volume 21, December 8, 1992" (1992). *KIP Articles*. 72.  
[https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_articles/72](https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/72)

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](mailto:digitalcommons@usf.edu).

ACTA CARSOLOGICA  
KRASOSLOVNI ZBORNIK  
XXI (1992)





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

XXI  
1992



LJUBLJANA  
1992

SPREJETO NA SEJI RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE  
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI  
DNE 8. DECEMBRA 1992

IN NA SEJI PREDSEDSTVA  
DNE 9. DECEMBRA 1992

UREDNIŠKI ODBOR

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

UREDNIK  
PETER HABIČ

Povzetke je v angleščino prevedla Maja Kranjc

Zamenjava - Exchange  
Biblioteka SAZU  
Novi trg 5/1, 61001,p.p.323, Slovenija

Tiskano s subvencijo Ministrstva za znanost in tehnologijo Republike Slovenije  
ter Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU

Po mnenju Ministrstva za informiranje Republike Slovenije št. 23/319-92, z dne  
1.6.1992 je ta publikacija uvrščena med proizvode, za katere se plačuje 5-od-  
stotni davek od prometa.

## VSEBINA - CONTENTS

<i>Tadej Slabe</i>	
Naravni in poskusni obnaplavinski jamski skalni relief .....	7
Natural and experimental cave rocky relief on the contact of water and sediments .....	32
<i>Peter Habič - Janja Kogovšek</i>	
Sledenje voda v kraškem zaledju Krupe v JV Sloveniji .....	35
Water tracing in the Krupa karst catchment, SE Slovenia .....	75
<i>Jože Čar - Jože Janež</i>	
Strukturnogeološke in hidrogeološke razmere izvirov Možnice .....	77
Structuregeological and hydrogeological conditions at the Možnica springs .....	93
<i>Stanka Šebela</i>	
Geološke značilnosti Pisanega rova Postojnske jame .....	97
Geological characteristics of Pisani rov in Postojna cave .....	113
<i>Nadja Zupan Hajna</i>	
Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa .....	115
Mineral composition of mechanical sediments from some parts on Slovenian karst .....	130
<i>Andrej Kranjc</i>	
A short historical review of cave minerals explorations in Slovenia before 1930 .....	131
Kratek pregled raziskovanja jamskih mineralov v Sloveniji pred 1930 .....	135
<i>Suzana Fajmut Štručl - Ivo Štručl</i>	
Minerals in the karstified triassic orebearing carbonate rocks of the Northern Karavanke Mts. ....	137
Minerali v zakrasedelih triasnih rudonosnih karbonatnih kamninah Severnih Karavnk .....	146

<i>Carol A. Hill - Robert H. Buecher</i>	
Nitrocalcite in Kartchner Caverns, Kartchner Caverns State Park .....	151
Nitrokalcit v Kartchnerskih jamah, Narodni part Kartchnerskih jam	
<i>Franco Cucchi - Furio Finocchiaro - Francesco Princivale</i>	
Yellow Sands with Gibbsite in Sediments of the Pocala Cave: paleoenvironmental consideration .....	157
Rumeni peski z gibsitom v sedimentih Pocala jame: paleoekološki pomen	
<i>Janja Kogovšek</i>	
Flowstone deposition in the Slovenian caves .....	167
Odlaganje sige v slovenskih jamah .....	173
<i>Andrej Mihevc</i>	
Gypsum in Tajna Jama and in the Cave Cubic .....	175
Sadra v Tajni jami in v jami Kubik .....	182
<i>Rajko Pavlovec - Jože Vesel</i>	
Flowstone as Natural Stone .....	185
Siga kot naravni kamen .....	191
<i>Andrej Kranjc</i>	
45 let raziskovanja degradacije in varstva slovenskega krasa v Inštitutu za raziskovanje krasa .....	193
45 years of karst degradation and protection research in Karst Research Institute .....	200

**NARAVNI IN POSKUSNI OBNAPLAVINSKI JAMSKI  
SKALNI RELIEF**

**NATURAL AND EXPERIMENTAL CAVE ROCKY RELIEF ON  
THE CONTACT OF WATER AND SEDIMENTS**

**TADEJ SLABE**

**Izvleček**

UDK 551.442

**Slabe, Tadej: Naravni in poskusni obnaplavinski skalni relief**

Ob stiku z drobnnozrnato naplavino voda značilno oblikuje skalni obod kraških votlin v obnaplavinski relief. Nad poplavno naplavino se voda pretaka v manjših tokovih v poplavljeni coni in na stropu vrezuje nadnaplavinske žlebove. Vdolbinice nastanejo ob vlažni naplavini. Podnaplavinske skalne oblike so del skalnega reliefa rovov, skozi katere se občasno pretakajo počasnejši vodni tokovi in na obod odlagajo drobnnozrnato naplavino. Žlebiči nastanejo z izcejanjem vode iz naplavine, zaradi korozije pod vlažno naplavino nastanejo vdolbinice, zaradi raztapljanja gole skale v zalitih rovih pa stenske zajede in stropne konice. Nastanek in način oblikovanja nadnaplavinskih žlebov in podnaplavinskih žlebičev sem potrdil in deloma proučil z laboratorijskimi poskusi na mavcu.

**Ključne besede:** kraška votlina, jamski skalni relief, skalna oblika.

**Abstract**

UDC 551.442

**Slabe, Tadej: Natural and experimental cave rocky relief on the contact of water and sediments**

At the contact with fine grained sediments the rocky rim of the karst caverns is shaped in a typical relief. Above the flood deposits the water in the flooded zone flew in smaller flows and cut against the ceiling above the sediment solution flutes. The solution niches occur along the humid sediment. Below sediment rocky features form a part of passages rocky relief where slow water courses flow at times and deposit fine grained sediment. Due to water filtering from the deposit half tubes develop, due to corrosion below the humid sediments small niches and due to solution of the bare rock in the flooded channels the rocky notches (indentations) and ceiling pendants occur. The origin and the way of shaping of the above sediment half tubes and the below sediment half tubes were confirmed and partly reproduced by plaster simulations.

**Key words:** karst cavern, rocky cave relief, rocky feature

**Naslov - Address**

mag. Tadej Slabe, dipl. geogr., raziskovalni sodelavec  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
66230 Postojna, Titov trg 2  
Slovenija

## KAZALO

1. UVOD .....	11
2. NADNAPLAVINSKE SKALNE OBLIKE .....	11
2.1. Stropni in stenski žlebovi ter anastomozne mreže .....	11
Oblika nadnaplavinskih stropnih žlebov in anastomoz .....	12
Poskusni nadnaplavinski žlebovi v mavcu .....	16
Nastanek in razvoj nadnaplavinskih žlebov ter anastomoz .....	19
2.2. Vdolbinice in kotlice .....	20
3. PODNAPLAVINSKE SKALNE OBLIKE .....	21
3.1. Poskusni podnaplavinski žlebiči .....	21
3.2. Podnaplavinske vdolbinice .....	24
3.3. Podnaplavinske stropne kotlice .....	26
3.4. Podnaplavinske stropne konice .....	27
3.5. Stenske zajede in niše .....	28
4. POVRŠINA OBNAPLAVINSKIH SKALNIH OBLIK .....	29
5. SKLEP .....	30
6. LITEARTURA .....	31
7. SUMMARY .....	32





## 1. UVOD

Ob stiku z drobnozrnato naplavino voda obod kraških votlin pogosto razčleni v obnaplavinski skalni relief. Sestavljajo ga nadnaplavinske in podnaplavinske skalne oblike. Nadnaplavinski žlebovi in vdolbinice so značilnost rovov, ki so bili zapolnjeni s poplavno naplavino. Zaradi pretoka vode nad ilovico v poplavljenem rovu žlebovi povišujejo strop in voda se zajeda v stene, ko odteka navzdol. Voda, ki priteka v zapolnjene rove skozi razpoke, lahko ob njihovem ustju naredi kotlice. Drobne vdolbinice pa nastanejo na kamnini ob sami vlažni naplavini. Nadnaplavinske skalne oblike so značilnost votlin kontaktnega krasa, ki so bile v pleistocenu pogosto v celoti zapolnjene z drobnozrnato naplavino.

Podnaplavinske skalne oblike so del skalnega reliefa rovov, skozi katere se občasno pretakajo počasnejši vodni tokovi in na obod odlagajo drobnozrnato naplavino. To so žlebiči in vdolbinice, stenske zajede, stropne konice in kotlice ter stenske niše. Nastajajo zaradi izcejanja vode iz naplavine (žlebiči), korozije pod vlažno naplavino (vdolbinice), ko se umaknejo visoke vode, ali pa zaradi raztapljanja gole skale v zalitih rovih (stenske zajede, stropne konice). Naplavina namreč mestoma prepreči vodi stik s steno. V občasno poplavljenih rovih pogosto prevladujejo sledi naplavljanja manjših količin drobnozrnate naplavine nad oblikami, ki jih zapuščajo vodni tokovi. Nihanje vodne gladine je posledica kratkotrajno spremenljivih klimatskih razmer na našem krasu.

Nastanek večine naštetih skalnih oblik sem skušal razložiti predvsem po njihovih oblikovnih značilnostih, položaju na skalnem obodu ter pogojih, v katerih se oblikujejo. Dognanja o nastanku nadnaplavinskih žlebov in podnaplavinskih žlebičev pa sem dopolnil s poskusi na mavcu. Pri poskusih mi je pomagal J. Hajna.

## 2. NADNAPLAVINSKE SKALNE OBLIKE

### 2.1. Stropni in stenski žlebovi ter anastomozne mreže

Stropne žlebove in anastomoze zasledimo kot eno najmlajših skalnih oblik v danes suhih rovih Primorskega (Dimnice (kat. št. 736), Kamnešča (kat. št. 2967), Škocjanske jame (kat. št. 735), Trhlovca (kat. št. 67) in Lipiška jama (kat. št. 311)), Notranjskega (Križna jama (kat. št. 65), Planinska jama (kat. št. 748), Ciganska jama pri Predgrizah (kat. št. 493), Postojnske jame (kat. št. 747), Predjama (kat. št. 734), Beloglavka (kat. št. 744), Markov spodmol (kat. št. 878) in Dolenjskega krasa (Brlog na Rimskem (kat. št. 4209)). Izrazitejše poplave so z drobnozrnato naplavino zapolnile več jamskih nadstropij hkrati (Dim-

nice) ter tako povzročile tudi preoblikovanje starih rogov. V jamah, skozi katere se še danes pretaka vodni tok, so stropni žlebovi ohranjeni le v višje ležečih ali višjih rovih, torej tistih, ki jih vodni tokovi ne dosega več. V redkih primerih, ko je vodni tok dosegel žlebove, je priostрил štrline med njimi. Po skalnem reliefu sklepam, da so nadnaplavinski žlebovi v naštetih jamah nastali v zadnjih obdobjih pleistocena ali že v prehodu v holocen.

Podrobneje sem opisal anastomozno mrežo v zgornji etaži Dimnic (SLABE, 1987). Predpostavil sem, da je mreža nastala v lokalno zajezenj coni, ko se je po žlebovih na stiku z ilovico pretakala voda. Opisal sem tudi nadnaplavinski skalni relief v Križni jami (SLABE, 1989, 212). Ravne stropove in nadnaplavinske žlebove v Brlogu na Rinskem je predstavil MIHEVC (1991). Nastanek žlebov zaradi pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino je potrdil že LAURITZEN (1981, 407) s poskusom, ko je na mavcu nastal splet majhnih žlebičev, ki so imeli le 2-3 mm premera. Takšne velikosti pa so bili tudi delci, ki so sestavljali naplavino. Žlebiči so torej nastali zaradi pretakanja vode med delci naplavine, ki so bili v tesnem stiku z mavcem. Žlebovi v jamah pa so praviloma večji in znatno presegajo velikost delcev v naplavini. S poskusi na mavcu sem zato skušal prispevati k natančnejši razlagi nastanka in razvoja stropnih žlebov.

Tabela 1

Obnaplavinske skalne oblike:

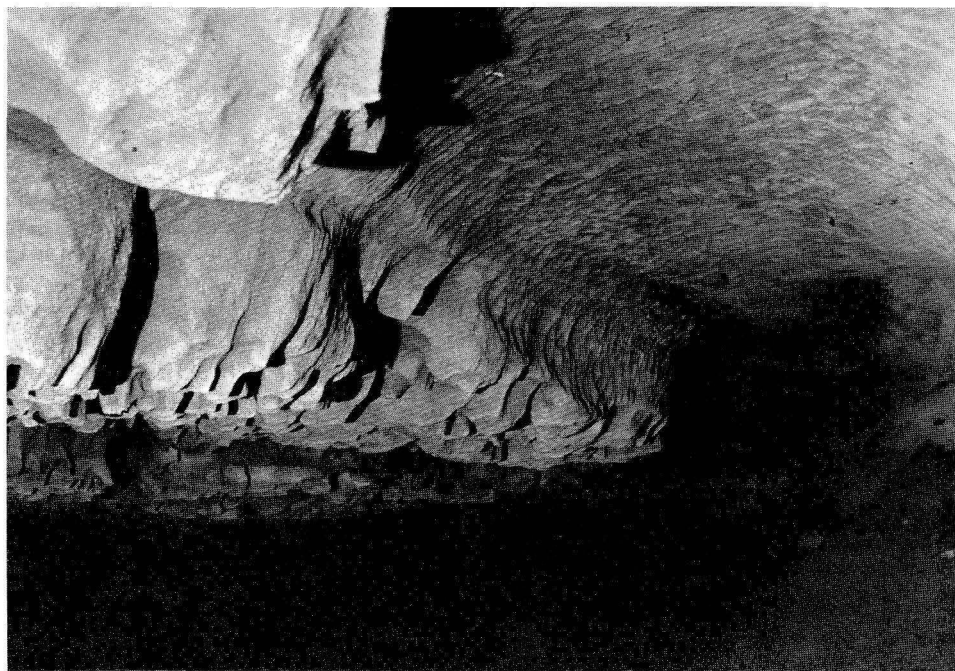
S K A L N E	O B L I K E	DEJAVNIKI OBLIKOVANJA	POGOJI OBLIKOVANJA	PROCES NA KAMNINI
NAD- NAPLAVINSKE	stropni, stenski žleb anastomoze vdolbinice kotlice	manjši tokovi nad naplavino vlaga v naplavini ali dotok vode do napl.	zalita cona zalita cona zalita cona zalita cona	korozija
POD- NAPLAVINSKE	žlebiči vdolbinice stropne kotlice stropne konice stenske zajede	izcejanje vode iz naplavine vlaga v naplavini izcejanje vode iz naplavine voda ob naplavini voda nad naplavino	občasno zalita cona občasno zalita cona občasno zalita cona zalita cona zalita cona	korozija korozija korozija korozija

#### Oblika nadnaplavinskih stropnih žlebov in anastomoz

Veliki **žlebovi** (tabela 1) zavzemajo ves zgornji del rova, manjši žlebovi pa so le na najvišjem delu stropa. Prvi so v rovih (SLABE, 1989, MN, 23, 36) z navpičnimi stenami, kakršna je tudi Turkova jama (kat št. 41). Takšne rove omenjata tudi FORD in WILLIAMS (1989, 272). Veliki žlebovi dosežejo več metrov premera. Manjši žlebovi imajo omega prečne prereze in so vijugasti. Z velikostjo žlebov se povečuje njihova premočrtnost. Če so žlebovi nastali ob razpokah, so

razmeroma ozki in visoki, ter imajo polkrožne vrhove. Ob razpokah so ohranjeni tudi žlebovi, ki imajo prečne prereze v obliki obrnjene črke V in ostro vijugajo. To je posledica mreže razpok. Premer manjših žlebov meri od 1–100 cm. Majhni žlebovi pogosto vodijo tudi iz stropnih kotlic, ki so nastale ob razpokah (SLABE, 1989, MN, 29).

Stropne žlebove, ki so prepleteni v mrežo, imenujemo **anastomoze** (SLABE, 1987, 169) in ker so nastale nad naplavino jih poimenujemo še z izrazom nadnaplavinske (tabela 1). Poznamo namreč tudi medskladovne in medrazpoklinške anastomoze. Površina anastomoz, ki prekrivajo ves strop rova (Havaji v Brlogu na Rinskem (sl.1), Kozinski rov v Lipiški jami), del stropa ali pa le podvise na stenah (Dimnice (SLABE, 1987, 171), Trhlovca, Turkova jama), meri od nekaj desetink do več kvadratnih metrov. Mreže so samostojne ali pa jih je več povezanih z žlebovi (SLABE, 1987, 172). Ločimo dva načina povezav žlebov in anastomoz. Prvi so žlebovi in anastomoze, ki so na stropu. Anastomoze na stenskih podvisih povezujejo stenski žlebovi. Mreže anastomoz nastanejo na površinah, ki so nagnjene do  $30^\circ$ , večji je nagib površine, bolj je izrazita usmerjenost žlebov v smeri njenega vpada. Usmerjenost je razvidna od  $10^\circ$  naklona naprej (Kozinski rov v Lipiški jami (sl.2)). Žlebovi v anastomozah so podobni posameznim žlebovom. Za mreže, ki jih sestavljajo žlebovi različnih velikosti, je značilna nadstropnost (Brlog na Rinskem (sl.3), Dimnice (SLABE, 1987)). Najmanjši žlebovi s premerom le nekaj cm so praviloma najbolj vijugasti in so obviseli nad večjimi, globlje zajedenimi žlebovi. Srednje veliki žlebovi s premerom od 10 do 15 cm in omega oblike so za velikost premera globlji. Največji žlebovi,



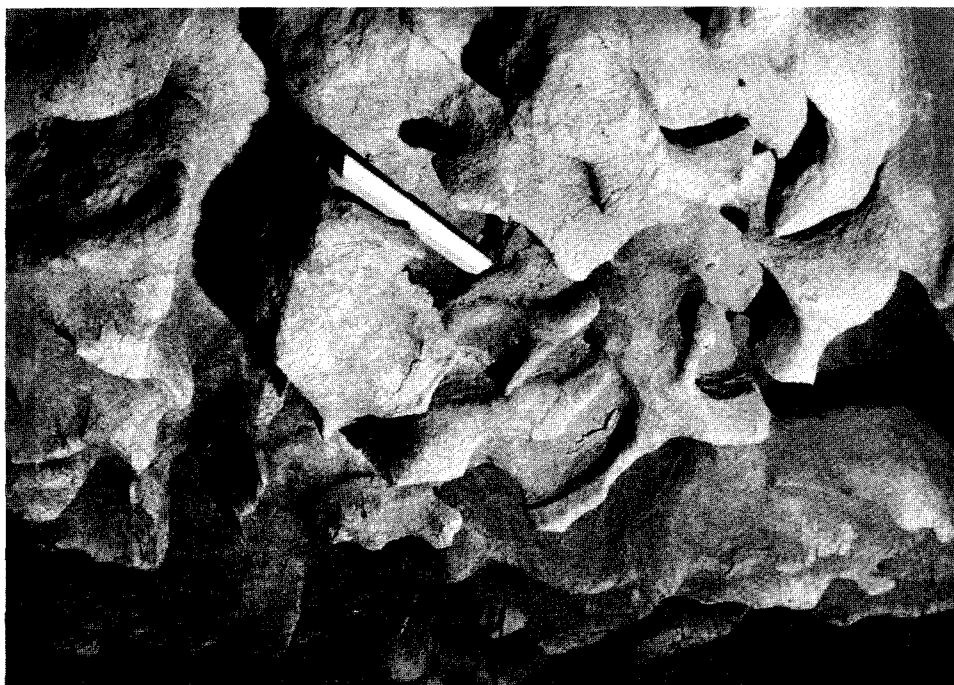
Sl. 1 Anastomozna mreža v Havajih v Brlogu na Rinskem  
Fig. 1. Anastomosing net in Hawaii, the cave Brlog na Rinskem



Sl. 2 Anastomoze na stropu Kozinskega rova v Lipiški jami

Fig. 2. Anastomoses on the ceiling of Kozinski rov, Lipiška jama

ki so veliki tudi preko metra (Havaji v Brlogu na Rimskem), pa so polkrožnega prečnega prereza. Večji žlebovi so bolj premočrtni. V anastomozah z gosto mrežo žlebov, ki niso nastali ob razpokah, so med žlebovi krožne ali zaobljene večkrake štrline. Spodnja ploskev kamnine, v katero so žlebovi zajedeni, je dokaj ravna. Na dolomitu žlebovi pogosto nimajo pravih omega prečnih prerezov in



Sl. 3 Del anastomoz v Havajih v Brlogu na Rimskem (merilo= 15 cm)

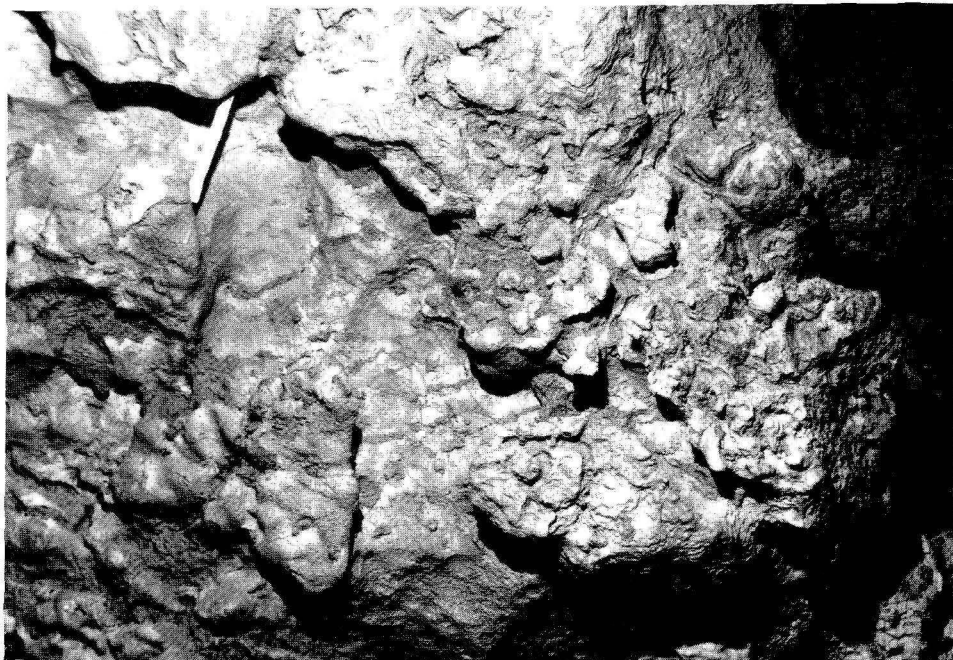
Fig. 3. A part of anastomoses in Hawaii, the cave Brlog na Rimskem (scale = 15 cm)

so tudi na istem nivoju različnih velikosti in oblik. Štrline med njimi so bolj koničaste in drobno razčlenjene. Značilna krojivost dolomita v tanke plošče se odraža tudi v obliki anastomozne mreže s pravokotno povezanimi žlebovi. V anastomozah, ki so nastale na konglomeratu v Smoganici (kat. št. 823), so med manjšimi žlebovi štrline, ki so sestavni deli kamnine (sl.4). Na obliki večjih žlebov se kamnina ne odraža, saj segajo prek različnih sestavnih delov.

Na površinah, ki so nagnjene več kot  $30^\circ$ , so stenski žlebovi. Žlebovi, ki potekajo po stenah navzdol, so večji ter premočrtni. Če pa potekajo vzporedno s položnim rovom ali poševno po steni, so vijugavi. Na njihovih zavojih so nastale manjše štrline.

Na gosto razpokani kamnini so na stenah in na stropu pogosto manjše cevi s premerom do 10 cm in so v celoti nastale v kamnini (Dimnice, Ledenica na Dolu (SLABE, 1989, MN, 153)). Takšne cevi so nastale tudi pri poskusu v mavcu.

Stropni žlebovi so tudi v jamah, ki so začele nastajati ob stiku zgornje karbonatne kamnine s spodnjim flišnim laporjem. Prvotni kanali, ki so imeli značaj medskladovnih anastomoz (EWERS, 1982), so prerasli v rove zaradi erozije laporja. Takšna je Piskovica (JEKIĆ, ZLOKOLICA, 1988, 71; MIHEVC, 1991, 21). Žlebovi so razvrščeni ob pravokotni mreži razpok. Vzdolžni žlebovi, iz katerih so se razvili rovi, so večji. Podobni žlebovi so ohranjeni tudi v Poljanski buži in Kubiku.



Sl. 4 Anastomoze na konglomeratu v Smoganici (merilo= 15 cm)

Fig. 4. Anastomoses on the conglomerate in Smoganica (scale = 15 cm)

#### *Poskusni nadnaplavinski žlebovi v mavcu*

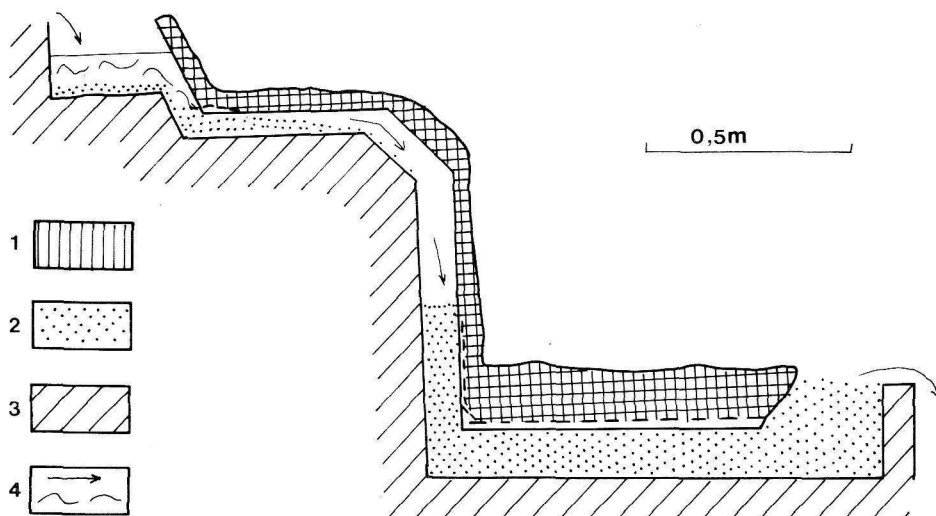
Dosežki ustvarjanja nadnaplavinskih stropnih žlebov na mavcu so zaradi majhnega števila poskusov še omejeni. Največja pomanjkljivost poskusov je onemogočeno sprotno spremljanje njihovega oblikovanja. Poskus pa je moč opazovati in uravnavati na pritoku vode v sistem in na iztoku iz njega. Vsekakor pa kaže s poskusi nadaljevati, saj so doprinesli pri proučevanju pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino mnogo razlag in odprli poti novim.

Pri delu smo uporabljali vodo iz vodovoda, industrijski mavec ( $\text{CaSO}_4 \times 1/2$  vode) in flišno ilovico iz Blatnega rova v Predjami. V vodi se je pri sobni temperaturi raztopilo 1,4 grama mavca. Ilovica je vsebovala tudi 0,5 % organskega ogljika. Ko se je ilovica dlje časa namakala v vodi, se je raztopilo nekoliko več mavca (1,7 g/l).

Pod različno velike plošče mavca (0,3–0,5 m<sup>2</sup>; največja je bila dolga in široka 70 cm), ki so bile vodoravne, navpične, ali različnih naklonov, smo naplavili 5 do 8 cm debelo plast ilovice. To smo dodajali pritočni vodi s pretokom 1,5 l/s. Pred iztokom iz sistema so bile plošče pod gladino izvira, v zaledju pa nad njo. Ilovica je hitro zapolnila prostor pod ploščami, ki so bile pod gladino izvira. Najprej se je voda prelivala čez zaporo izvira enakomerno, nato pa so nastali posamezni izviri z vrtinci, ki so bili dokaj enakomerno razporejeni vzdolž preli-va. Število izvirov se je ščasoma manjšalo in končno je prevladal en sam, v

nekaterih poskusih pa tudi dva izvira. Ilovico smo pritočni vodi dodajali sproti, nekaj jo je tudi odtekalo. Pretok skozi sistem se je občasno upočasnil ali pa celo zastal. Ker pa je bil v zaledju možen 1,5 metrski stolpec pritiska, se je čez 1 do 5 minut pretok odprl z manjšim ali večjim sunkom vode. Po največjih sunkih se je obnovilo več izvirov. Večina je kmalu prenehala prevajati vodo. Obnovila se je podoba izpred zamašitve sistema. Če smo dodali preveč ilovice, smo pretok obnovili le z osušenjem sistema. Ilovica se je takrat vsedala in razpokala in s poskusom smo lahko nadaljevali. Že pri prvih poskusih se je pokazalo, da so žlebovi nastali ob stikih mavca, ki so bili posledica sestavljanja in zapiranja sistema ter ob razpokah. V poskusu, ko je bila plošča le nekaj cm pod gladino izvira, sta ob stiku mavca nastala žleba. Prvi je imel 1 cm velik premer in omega prečni prerez. Po nekaj urah se je prerez odprl, razširil (2 cm) in povišal (2,5 cm). Drugi žleb je bil širok 5 cm in globok 3 cm. Žlebova sta sprva delovala hkrati, nato pa je ves pretok pod mavčno ploskvijo prevzel večji žleb. Manjši žleb se je zaradi sprotnega dodajanja ilovice zamašil, njegov vrh pa je pred tem že malo presegel gladino izvira. Njegovo rast navzgor je omogočala sipina, ki je nastala pred ustjem. Manjši žlebovi so nastali tudi na ploščah mavca, ki so bile dokaj visoko nad gladino izvira. Oblikovali so se na ostrih pregibih med ploščami, ki so se stikale pod različnimi koti. Pod pregibi se je nakopičila ilovica.

Najbolj izrazit splet žlebov je nastal na plošči, ki je bila dolga in široka 0,7 m in katere dno je bilo 0,2 m pod gladino izvira (sl.5). V sistem, ki je deloval 120 ur, smo sproti dodajali ilovico. Polovica potopljene površine mavca je bila drobno razpokana, v drugo polovico pa smo vrezali pravokotno mrežo zarez, ki so bile 5 mm globoke in 3 mm široke. Najprej so na vsej površini, tudi med za-



Sl. 5 Prečni prerez poskusnega modela

Fig. 5. Cross-section of the experimental model





Sl. 6 Stropna žlebova na mavcu  
Fig. 6. Ceiling half tube in plaster

rezami in razpokami, nastale majhne anastomoze s premerom le nekaj mm. Večji žlebovi so nastali na razpokani plošči. Globlji žlebovi (sl.6) (do 2,5 cm) so ožji (do 8 mm), plitkejši žlebovi (do 1,5 cm) pa širši (1,2 cm) in imajo omega prečne prereze. Globlji žlebovi imajo polkrožne vrhove. Po velikosti izstopa žleb, ki dokaj premočrtno povezuje razčlenjeno mrežo razpok. Nekateri žlebovi so slepi. Ugotavljanje prevodnosti žlebov pa je bilo otežkočeno, saj se je voda pretakala tudi skozi mavec. Razpokano ploščo smo namreč povezali z nekaj cm debelo plastjo mavca in na stiku obeh je nastala 5 cm široka cev z ravnim dnom. Ob robu je cev polkrožno razširjena. Ima obliko širokega omega prečnega prereza in je dokaj premočrtna. Manjši žlebovi na površini plošče so se zapolnili z ilovico. Sledi ilovice na stiku mavčnih plošč nam dokazujejo, da je voda z ilovico zapolnila najprej manj prevodne poti, hkrati pa si je utrila bolj prevodne. Ob iztoku iz žlebov, na navpičnem robu plošče, nastanejo plitki in 1 cm široki, ravni žlebovi. Le ob večjem izviru, za osrednjim žlebom ima iztočni žleb večje lijakasto ustje. Tudi ti žlebovi so nastali pod vodno gladino izvira in sicer na stiku s sipinami, ki jih je voda odložila pred zaporo izvira.

Na spodnji ploskvi mavca so med žlebovi nastale krožne štrline, ki imajo premer 10 mm in so do 3 mm visoke. Na ostali površini pa so majhne vdolbinice, ki imajo 1–3 mm premera ali pa iz površine štrlijo majhni drobcji peska, ki je v mavcu. Površina žlebov je gladka, na njej so le posamezne, do 1 mm velike, polkrogelne vdolbinice.

Pred zaključkom poskusov smo obarvali ilovico, ki jo je voda nanese v sistem. Na mavcu ter v ilovici so se jasno pokazali kanali, ki so bili prevodni zadnji.

### *Nastanek in razvoj nadnaplavinskih žlebov ter anastomoz*

Po opazovanjih skalnih oblik v votlinah sem predpostavil, da počasnejše poplavne vode postopno odlagajo drobnozrnato naplavino, ki zapolnjuje rov najprej v zatišnih legah, nato pa od ovire navzgor in od tal proti stropu. Če je pretok vode počasen, kar je posledica manjše prepustnosti rovov, tok pa prenaša dovolj drobnozrnatega materiala, zapolni naplavina rove skorajda v celoti. Večja količina vode se pretaka skozi ves zgornji del rova (Dimnice), manjša količina vode pa si poišče najbolj prevodne poti pod stropom rovov. Voda se po naplavini pretaka pod pritiskom in v strop se vrezujejo žlebovi. Velikost, oblika in vijugavost žlebov je posledica oblike in prepustnosti rovov, hitrosti pretoka vode ter značilnosti materiala, ki ga prenaša voda.

Predvidevanja je poskus potrdil. Ugotovil sem tudi, da ob povečanem pritisku v zaledju hitrejši vodni tok lahko začne odnašati naplavino. Zaradi manjše hitrosti pretoka pa se odloži preveč ilovice, kar je primer pri gostem blatnem toku, in žlebovi se zamašijo. Pri poskusih, ki so imeli omejen stolpec pritiska, se je pretok obnovil šele po dolgotrajnejši prekinitvi in osušitvi naplavine, ki se je usedala in razpokala.

Najmanjše delce naplavine lahko prenaša zelo počasen tok in ko se vsedejo, je za njihov ponovni prenos potrebna precej večja hitrost toka od tiste, ki jo je imela voda, ko je te delce prenašala in odlagala (SCHEIDEGGER, 1961, 135). Ilovico, katere delci so veliki 0,01 mm odlaga voda pri hitrosti 1,2 cm/s, erodira pa jo šele pri hitrosti 40 cm/s. Manjši so delci naplavine, večji je razkorak hitrosti, pri kateri se odlagajo, ali pa jih voda zopet vključi v svoj tok. To je osnovni vzrok za zapolnjevanje rovov z drobnozrnato naplavino in seveda za izrazito vrezovanje vode, ki se pretaka nad naplavino, in zajeda v strop. Ko se žlebovi dovolj povečajo, da se poveča tudi hitrost pretoka skozi njega, se voda vrezuje tudi v ilovico pod njimi (SLABE, MN, 1989, 69). Večji žlebovi so zato polkrožni, spodnji polkrog cevi je namreč že v ilovici. Hitrost pretakajoče vode skozi anastomozne žlebove je, če sklepamo po velikosti delcev v naplavini in če je premer žleba velik 10 cm, 0,1 do 8 cm/s in tok je na podlagi Reynoldsovega števila laminaren. Turbolenten je tok v žlebovih, ki imajo premer večji od 20 cm. To kaže tudi razširjenost večjih žlebov na zunajnih robovih vijug. Vijuganje je lahko tudi posledica vrtninjenja vodnega toka z vrtinci, ki so enaki ali večji od preseka žleba ali cevi.

Manjša prevodnost rova pospešuje odlaganje naplavine. Voda se pod pritiskom razdeli v razvejano mrežo vijugastih žlebov in nastajajo anastomoze. V Brlogu na Rinskem so v večjih in višjih rovih na stropu večji žlebovi, v nižjih Havajih pa je velika anastomozna mreža. Za anastomoze, ki jih sestavljajo tudi večji žlebovi, je značilna nadstropnost. Manjše mreže z enako velikimi žlebovi imajo vse žlebove v istem nivoju. V večjih mrežah pa manjši žlebovi obvisijo nad večjimi. Če se veliki žlebovi, ki prepredajo mrežo, povečujejo in prevladajo, lahko prekrijejo ostale žlebove in med njimi ostanejo le še posamezne štrline. V Brlogu na Rinskem veliko anastomozno mrežo preči premočrten žleb s premerom prek 1 metra.

S poskusom smo ugotovili, da si voda na začetku oblikovanja mreže, ob hitrem odlaganju naplavine, poišče najbolj prevodne poti. To nam potrdi tudi vrsta izvirov na začetku poskusa in majhne anastomoze na mavcu. Voda nato izbere najbolj prevodne žlebove, manjše pa zapolni z naplavino. Manjši žlebovi in zareze, ki smo jih naredili na plošči, so bili zapolnjeni z ilovico in brez sledu

barve, ki smo jo spustili v sistem pred koncem poskusa. Ščasoma so torej povsem prevladali le največji žlebovi.

Razvoj žlebov iz majhnih v večje z omega prečnim prerezemom, sem predpostavil ob primeru jamskih anastomoz v Dimnicah (SLABE, 1987, 176).

Domneve je poskus na mavcu potrdil. Ob sprotnem dodajanju ilovice je najprej nastal ožji žleb, nato pa se je spričo večje prevodnosti, ki jo je dobil kot prevladujoča vodna pot, oblikoval v žleb z omega prečnim prerezemom. Žleb se je nato višal in širil v odprto omega obliko. Na mavcu so ob izrazitejših razpokah nastali ozki in globoki žlebovi, ob manj izrazitih razpokah pa so ti bolj plitki in imajo omega prečne prereze. Ozki in visoki žlebovi so nastali tudi zaradi hitrega dodajanja ilovice v vodo. Ilovica se je odlagala in povzročila hitro vrezovanje vode v mavce. V istem žlebu so lahko odseki z omega prečnim prerezemom ali pa je žleb ozek in visok.

Skratka, premočrtnost žlebov je posledica njihove prevodnosti. Pri oblikovanju žlebov sta pomembna tudi razpokanost kamnine in količina naplavine, ki jo pri določeni hitrosti odlaga voda.

Omenil sem že dva sistema povezanosti žlebov in anastomoz. Stropni sistem (Brlog na Rinskem) nastane, ko je votlina potopljena in se voda pretaka nad naplavino v najvišjih delih rovov. Stenski sistem pa nastane zaradi otekanja vode, ki je ujeta nad naplavino, ob stenah rovov navzdol. Žlebovi v stropnem sistemu so praviloma večji, seveda, na velikost vpliva tudi čas njihovega oblikovanja. Količina ujete vode pa je praviloma manjša in tako tudi stenski žlebovi. Žlebovi v stropnem sistemu imajo omega prečne prereze, v stenskem sistemu pa ne, omega oblike so le anastomozni žlebovi.

Ob gostih razpokah in lezikah si voda ščasoma poišče pot skozi kamnino in nastanejo cevi, ki smo jih opazovali v Dimnicah in Ledenici na Dolu. Tudi poskus nam je potrdil njihovo oblikovanje. Ob sprotnem dodajanju ilovice si je voda hitro utirala pot ob razpokah navzgor, vse dokler ni nastal ob stiku mavcev enoten cevni prevodnik.

Manjši stropni žlebovi (Bar v Dimnicah), ki so široki le nekaj cm, vodijo tudi iz vrha kotlic. Nastali so zaradi pretakanja vode iz razpok, ob katerih so se oblikovale kotlice. V razpoki, ki je tanka, a visoka, lahko torej nastane dovolj velik pritisk, da si voda prebije pot v rov, zapolnjen z naplavino.

## 2.2. Nadnaplavinske vdolbinice in kotlice

Rovi, ki so bili povsem ali pretežno zapolnjeni z drobnozrnato naplavino, imajo pogosto ves obod ali pa stene razjedene z dokaj pravilnimi polkrogelnimi vdolbinicami (tabela 1) in kotlicami. Vdolbinice s premerom do 5 cm so značilne za nerazpokane stene, kotlice s premerom od 5 cm do 20 cm pa so značilne zlasti za razpokano kamnino. Največje so ob najbolj izrazitih razpokah. Vdolbinice so skoraj v vseh primerih enako globoke, kot je premer njihove odprtine, ali pa celo globlje. Vdolbinice nastajajo zaradi korozijskega razjedanja nerazpokanih ali manj razpokanih sten. Korozija z vlago v naplavini, ki deluje enakomerno na vso skalno površino, vdolbinice zaoblji (LANG, 1959). Gosto razporejene vdolbinice so povezane in stene med njimi so razčlenjene v tanke štrline (Volčja jama na Nanosu). Razjedanje je bolj izrazito na stiku s porozno naplavino, ki mogoča obnavljanje korozijsko agresivne vode. Majhne polkrogele vdolbinice s

premerom nekaj mm so nastale tudi na mavcu. Način razjedanja sten je torej posledica sestave, poroznosti in razpokanosti kamnine, vlažnosti naplavine in dolgotrajnosti procesa.

Kotlice, zlasti večje, pa nastanejo tudi zaradi pritekanja vode skozi razpoko v kamnini na stik z naplavino, kjer se razliva in razjeda kamnino. Redko je pritisk vode dovolj velik, da strnjeno odteka iz razpoke in vreže majhen žleb (Bar v Dimnicah).

Vdolbinice na stenah jam, ki so bile kratkotrajno zapolnjene s poplavno naplavino s flišnega zaledja (Južni rov v Dimnicah, Matevžev rov v Postojnski jami), so dokaj pravilno polkrogelne in imajo gladke stene. Vdolbinice in kotlice, na stenah jam (Volčja jama na Nanosu (SLABE, 1990, 173), Velika ledenica v Paradani), v katerih je bila naplavina ohranjena dlje časa, pa so pogosto zapolnjene s kroglicami strnjene naplavine. Hitro znižanje vodne gladine je povzročilo, da so naplavino iz jam le počasi izpirali razpršeni curki prenikajoče vode. Jama je namreč iz nižinskega prevodnika prešla v vadozni del enostavno odtočnega vodonosnika. Naplavina je bila pogosto deloma karbonatna. Nastajala je tudi z dolgotrajnim preperevanjem površja nad jamami. Zato je pogosto rekristalizirala v kroglaste konkrecije (N. ZUPAN, 1990, 18). Temna prevleka površine vdolbinic so Mn minerali, ki so preostanek preperevanja karbonatov.

### 3. PODNAPLAVINSKE SKALNE OBLIKE

#### 3.1. Poskusni podnaplavinški žlebiči

V delih epifreatičnih rogov, ki niso izpostavljeni hitremu vodnemu toku, nastajajo podnaplavinški žlebiči. So praviloma na spodnjih delih jamskih sten. Žlebiči nastanejo na položnih, navpičnih, pa tudi na previsnih stenah. Največji žlebiči dosegajo 15 cm globine, bolj pogosti pa so manjši (sl.7). Imajo prečne prereze v obliki črke V z zaobljenim dnom. Med njimi so dokaj ostri razi. Na položnih površinah med žlebiči, kjer se tudi lahko odloži ilovica, nastajajo manjši žlebiči, ki vodijo po razih v večje. Na previsnih stenah so pod ostrim ustjem na robu lijakasti žlebiči, ki se po steni navzdol širijo. Med njimi so le ozki razi. Pogosto lahko opazujemo oblikovanje žlebičev v povezavi z drugimi skalnimi oblikami. Členijo stenske nože (Črna jama v Postojnskih jamah, spodnji del Logaške jame (kat. št. 2490)) ali pa vodijo iz stropnih kotlic, ki imajo položne stene. Razi med žlebiči, ki so izpostavljeni korozijskemu delovanju vodnega toka, se zaostrijo, erozija pa jih gladi in zaoblji (sl.8). Sklepal sem, da žlebiče oblikuje voda, ki se izceja iz sveže odložene ali razmočene stare naplavine. To vodni tok odlaga na položnih odsekih skalnega oboda.

Nastanek žlebičev sem skušal ponazoriti s poskusom na mavcu. Mavčni blok z ravno zgornjo ploskvijo in različno nagnjenimi stranskimi: z navpično, položno, z naklonom 60°, previsno z istim naklonom, ter podvisno, smo izpostavili poplavljanju z vodami, katerim smo primešali ilovico iz Blatnega rova v Predjambi. Pod njo v jami nastajajo žlebiči. Ko se je ilovica usedla iz vode, smo znižali njeno gladino. Iz vlažne naplavine, ki je prekrila tudi zgornjo, vodoravno ploskev bloka in zgornje dele položne ter navpične stranske ploskve, se je izcejala voda. Nastale so proge izpranega mavca, v ilovici pa plitke zajede. Po po-

novnem poplavljanju, si je voda znova izbrala pot po zajedah v izprane proge. Začeli so nastajati žlebiči. Žlebiči so najbolj gosto razporejeni, a majhni, na zgornjem delu položne ploskve, navzdol pa se širijo. Voda se namreč združuje v manjše tokove. Na navpični ploskvi so žlebiči dokaj enakomerno široki po vsej dolžini (sl.9). Ustja med zgornjo vodoravno površino in stenami imajo ostre pregibe ter določajo smeri polzenja vode. Če se po previsnih stenah pretaka večja



Sl. 7 Podnaplavinjski žlebiči v Markovem spodmolu (merilo= 15 cm)  
Fig. 7. Sub-sediment half tubes in Markov spodmol (scale = 15 cm)

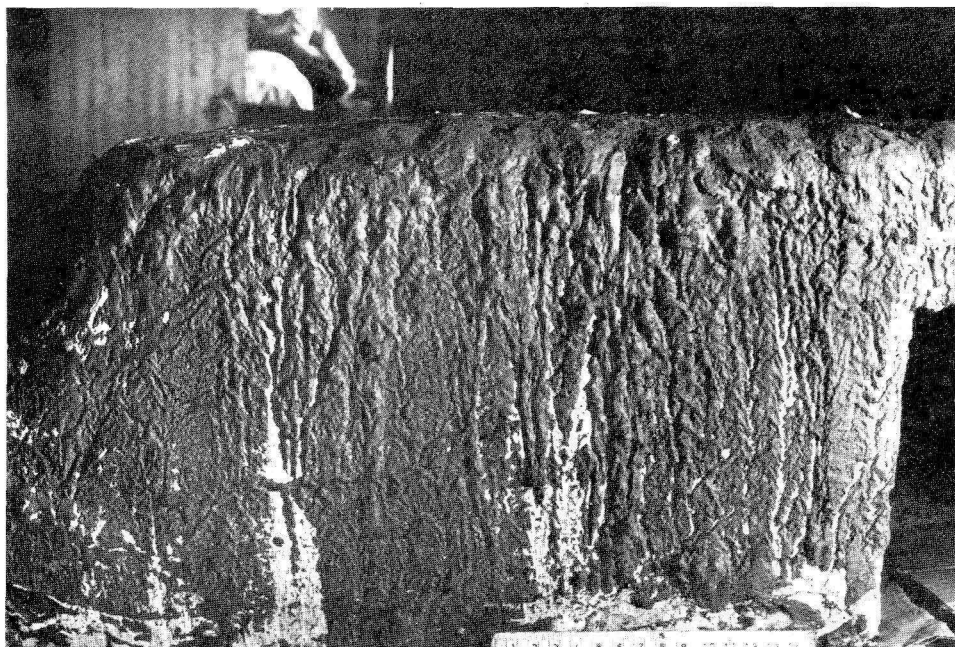


Sl. 8 Z erozijo zaobljeni podnaplavinski žlebiči v Ponikvah v Jezerini (merilo=15 cm)

Fig. 8. Sub-sediment half tubes rounded by the erosion in Ponikve, Jezerina (scale = 15 cm)

količina vode, nastajajo lijakasti žlebiči. Na zgornjem delu so žlebiči globlji, navzdol pa se enaka količina vode razlije na večjo površino in so zato žlebiči bolj plitki. Manjša količina vode se na stropu razleze in povzroči nastanek konic, večja pa vreže širše, kratke in polkrožno zaključene žlebiče. Izkazali sta se dve





Sl. 9 Žlebiči na navpični steni mavčnega bloka (merilo= 15 cm)

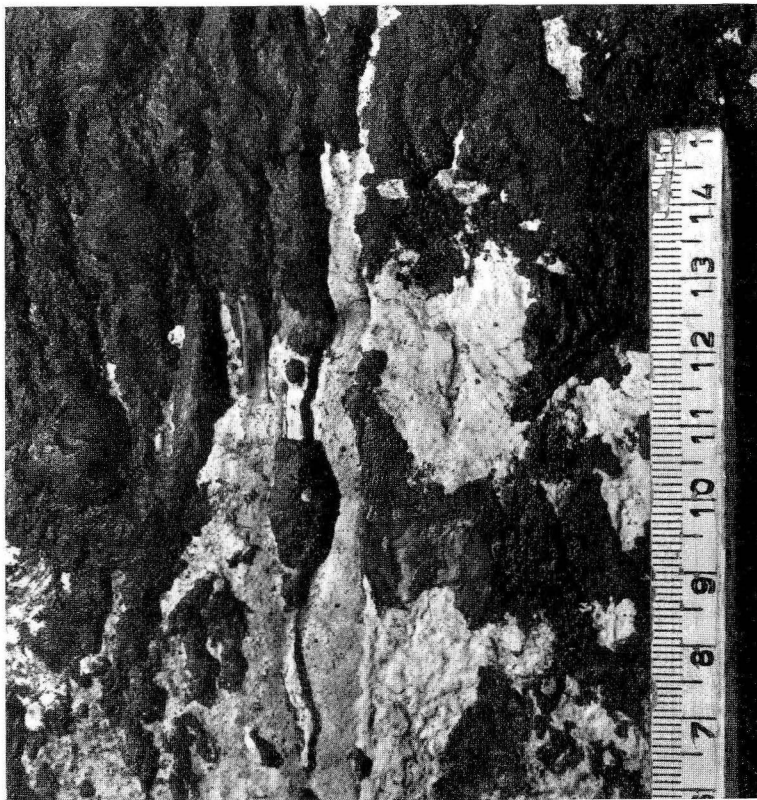
Fig. 9. Half tubes on the vertical wall of the plaster block (scale = 15 cm)

omejitvi poskusa. Površina hitro topnega mavca je postala hrapava, in ker je ni oblival vodni tok, se je na njo prišlo več ilovice, kot se je na apnenec. Hkrati pa je bila količina odložene ilovice razmeroma majhna in iz nje so se izcejjale le manjše količine vode. Žlebiči so zato redki. Voda se je v manjših časovnih presledkih iz naplavine izcejjala po kapljicah in na posameznih odsekih so žlebiči zato vijugasti (sl.10).

Razporejenost žlebičev in njihova velikost sta posledica količine vode, ki se izceja iz naplavine, oblika pa je posledica nagiba površine, po kateri polzi voda. Večja količina vode, ki se enakomerno izceja iz naplavine, vreže gosto nanižane, ravne, in glede na širino plitke žlebiče, manjša pa žlebiče, ki so razporejeni redkeje, so globlji, lahko tudi vijugasti. Zmanjšanje količine polzeče vode se odraža v majhnem žlebiču znotraj večjega. Količina vode pa je pogojena s količino naplavine. Za nastanek žlebičev na jamskih stenah so torej potrebne velike količine naplavine ali pa pogostost poplavljanja.

### 3.2. Podnaplavinske vdolbinice

So večinoma manjše polkroglaste vdolbinice (tabela 1), katerih premeri po prečno dosegajo 5 cm. Odstopanja od polkrogelne oblike so posledica sestave in razpokanosti kamnine, na kateri se vdolbinice oblikujejo. Večje vdolbine so redke. V Kompoljski jami so vdolbine (sl.11) na stenskih zajedah dolge do 20 cm. Za vse globlje vdolbinice je značilno, da imajo navpične stene v njihovem



Sl.10 Del žlebiča na navpični steni mavčnega bloka

Fig.10. A part of a half tube on the vertical wall of the plaster block

zgornjem delu in manjše razširitve nad dnom, ki je dokaj ravno. Vdolbinice so nastale višje nad dnom struge, bodisi na položnih stenah ali na skalnih blokih in čerih. Vdolbinice začno nastajati zaradi korozije pod naplavino, ki se odlaga na vboklih delih kamnine. Najprej se valjasto poglobljajo, ko pa so globlje, se na njihovem dnu odloži več naplavine, ki se ne obnavlja in preprečuje vodi stik s kamnino. Nad naplavino se po umiku visokih voda zadrži voda. Korozija zato prevladuje na bokih vdolbinic. Gosto razporejene vdolbinice se začno združevati in med njimi ostanejo le še posamezne štrline. Vdolbinice nastajajo le v rovih, skozi katere se občasno pretakajo hitrejši vodni tokovi. Ti odnašajo naplavino s sten, oziroma se ta obdrži le točkovno, na vboklih mestih. V manjših vboklinah se obnavlja. Počasnejši tokovi namreč pogosto odlože naplavino v debelejših plasteh, ki preprečujejo vodi stik s steno (Griška jama (kat. št. 2341)). Zaradi izrazitejših vodnih tokov, ki občasno oblivajo obod rogov, pa je oblikovanje podnaplaviniskih vdolbinic pogosto povezano z oblikovanjem drugih oblik. Nastajajo na dnu faset, hitri tokovi pa jim lahko dodajo iztočne repe (sl.12). Pogosto jih sooblikuje tudi erozija. Ta lahko gladi dna vdolbinic in jih občasno dolbe.



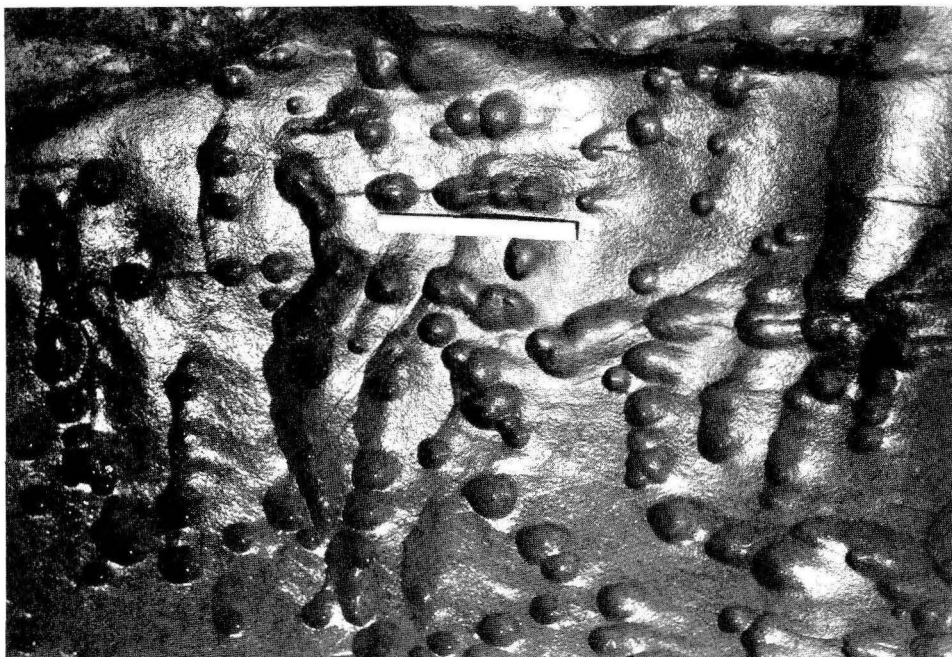


Sl.11 Podnaplavinska kotlica v Kompoljski jami (merilo= 15 cm)

Fig.11. Sub-sediment solution cup in Kompoljska jama (scale = 15 cm)

### 3.3. Podnaplavinske stropne kotlice

Po položaju stropnih kotlic (tabela 1) na skladu kamnine, ki štrli iz zgornjega dela stene v Južnem rovu Zelških jam (kat. št. 576) in njihovi obliki – so namreč zvonaste in se navzgor ožijo v majhno cev (sl.13) – sklepam, da so kotlice preoblikovale prenikajoče vode, ki se izcejuje iz drobnozrnate naplavine. To občasni visoki vodni tok odlaga na polici sklada. Voda penika skozi razpoko in ob njenem ustju se oblikuje kotlica. Takšno izcejanje pa je mogoče le, če voda naplavino obnavlja, torej vodni tok najprej odnese staro, in ko se upočasni, naplavi novo. Če bi se naplavina le odlagala, bi polico prekrila z debelejšo plastjo, ki bi preprečila vodi stik z razpoko. Pri poskusih na mavcu so nastale stropne vdolbinice tudi, ko se je voda izcejala iz spužve, ki je prekrivala mavčno ploščo (SLABE, 1990, 181). Predpostavljam, da je opisan proces kotlice le preoblikoval. Namreč tudi okoliški strop je razčlenjen v kotlice, le da so te plitke, polkrogelne. Strop je najprej oblikoval vodni tok. Ščasoma je rov dosegal le redko, bil je počasnejši in odlagal je naplavino. Voda, ki se je izcejala iz naplavine po umiku visokih voda, je kotlice, ki so nastale ob razpokah, preoblikovala, predvsem poglobila.



Sl.12 Podnaplavinke vdolbinice, ki jih sooblikuje vodni tok v Podzemeljski Pivki (merilo= 15 cm)

Fig.12. Sub-sediment solution cups formed by water flow in the underground Pivka river (scale = 15 cm)

### 3.4. Podnaplavinke stropne konice

V rovih, skozi katere se pretaka in jih poplavlja počasen vodni tok, ki odlaga tanko plast drobnnozrnate naplavine, so strop in previsne stene razčlenjene v podnaplavinke konice (tabela 1). V Črni jami, v Postojnskih jamah, je tako oblikovan obod sifona v Krožnem rovu. Stropne konice so tudi v občasno poplavljenih rovih Vodne jame v Lozi (kat. št. 911) in Zelških jam. Film naplavine obda hrapavo kamnino. Konice (sl.14), ki so dolge do 1 cm, nastanejo zaradi težnostnega kopičenja naplavine na štrlečih delcih kamnine. Ti so tako zaščiteni pred korozijo. Konice se po skalnem obodu navzdol postopoma spreminjajo v podnaplavinke vdolbinice. Konice nastajajo, ko je rov zalit, vdolbinice pa predvsem po osušitvi rova, ko korozija deluje le ob stiku z vlažno naplavino. Velikost in gostota konic sta posledica sestave kamnine in časa njihovega oblikovanja.

Stropne podnaplavinke konice nastajajo tudi zaradi polzenja vode iz stropnih razpok. Voda prenaša drobnnozrnato naplavino, ki se v tankem filmu razleže po stropu. Na konicah se nabere tanka plast ilovice, kar zavira njihovo raztapljanje. Takšne so tudi konice na dolomitnem stropu Dvorane jeze v Turkovi jami.



Sl.13 Podnaplavinske stropne kotlice v Blatnem rovu Zelških jam  
Fig.13. Sub-sediment ceiling pendants in Blatni rov, Zelške jame

### 3.5. Stenske zajede in niše

Stenske zajede (tabela 1) nastanejo ob nivoju vodnega toka, ki se počasi pretaka nad drobnozrnato naplavino. Voda značilno razjeda stene tudi ob naplavinah, ki je odložena v debelih plasteh na položnih površinah skalnega oboda. Naplavina ščiti skalo pred korozijo. Tako se lahko širijo spodnji deli rovov z okroglim prečim prereзом. Voda širi njihove bočne dele. Ob nizkem vodnem stanju se voda izceja iz naplavine in vrezuje žlebiče. Manjše stenske zajede so pogoste tudi ob lezikah v rovih, ki so se oblikovali vzdolžno s skladovitostjo kamnine. Voda, ki razjeda kamnino najhitreje ob lezikah, na zgornjih delih skladov odlaga naplavino. Le ta povzroča, da je kamnina pod njo zaščitena pred korozijo. Polkrožne zajede so zato spodaj prisekane. V Kopoljski jami (kat. št. 25; sl.11), skozi katero se občasno pretaka hitrejši vodni tok, so takšne zajede globoke do 0,2 m. Na njih so podnaplavinske kotlice. V Vodni jami v Lozi so zajede, ki so nastale ob lezikah in vzdolžnih razpokah, skozi jamo pa se pretaka počasnejši vodni tok in voda odloži več naplavine, globoke do 1 m. Na njihovih robovih so vrezani podnaplavinski žlebiči, ki dosegajo 0,15 m globine. Zaradi meandriranja počasnega odprtega vodnega toka ob drobnozrnati naplavinah pa nastanejo stenske niše (J. H. Bretz, 1956, 18), kakršne so tudi v Blatnem rovu Križne jame. Vodni tok odlaga naplavino zlasti na notranji strani meandrov, na zunanji, če teče ob steni, se zato vrezuje vanjo.



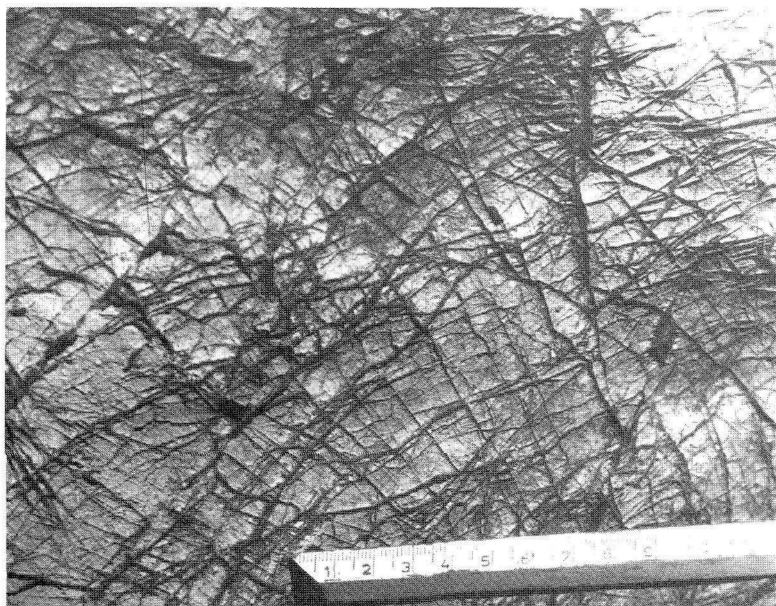
Sl.14 Podnavlavlinske stropne konice v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnske jame)

Fig.14. Sub-sediment ceiling pendants in Krožni rov in Črna jama (Postojnske jame)

#### 4. POVRŠINA OBNAVLAVINSKIH SKALNIH OBLIK

Za gladkost oziroma hrapavost skalne površine je odločilno razmerje med učinkovitostjo korozije in sestavo ter drobno razpokanostjo kamnine. Korozija, ki deluje enakomerno na vso površino skale, večje nehomogenosti ne izravna. Drobne kalcitne žilice zato sestavljajo "boxwork" (sl.15). Iz kamnine štrlijo večji fosili, silikatni delci, še najbolj hrapava pa je praviloma površina dolomita, ki ga sestavljajo različno veliki kristali, prepredajo pa kalcitne žilice.

Pod velikimi povečavami elektronskega vrstičnega mikroskopa so tudi na oko gladke površine obnavlavlinskih skalnih oblik drobno hrapave (sl.16). Iz površine štrlijo posamezni večji kristali ali skupki manjših. Drobna hrapavost je posledica zrnate kamnine, ki je podvržena enakomerni ploskovni koroziji. Ta hitreje topi manjše delce kamnine. Tudi manjši tokovi v žlebovih so prešibki, da bi s površine trgali štrleče kristale. Značilno drobno hrapava površina



Sl.15 Skalna površina anastomoz

Fig.15. Rocky surface of anastomoses

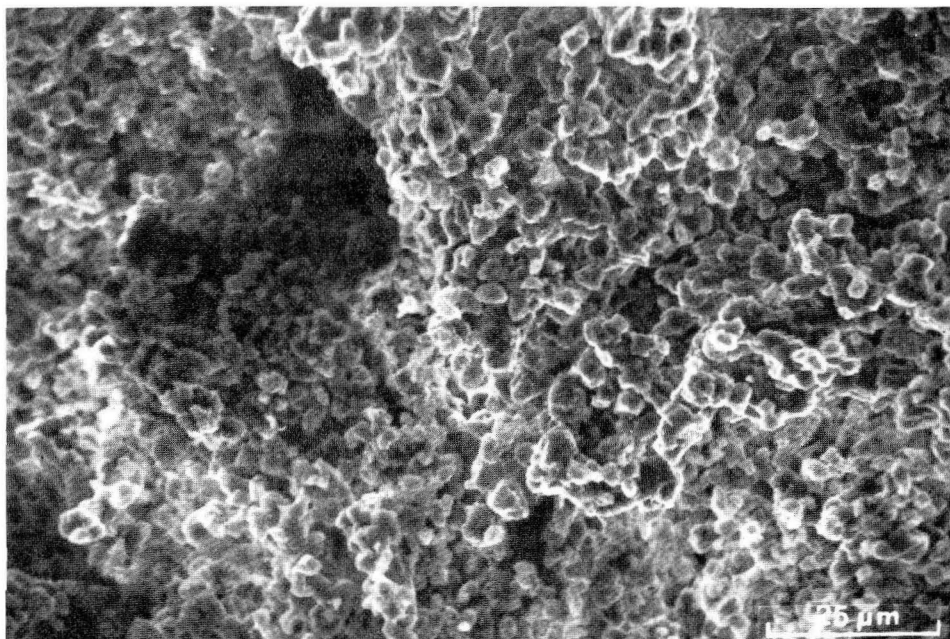
obnaplavinjskih skalnih oblik je dokaz za njihov korozijski nastanek. Raztapljanje kamnine je pospešeno s svežimi poplavnimi vodami, ki večinoma pritekajo z nekarbonatnih kamnin. Voda dobi agresivnost tudi iz naplavine, saj so v njej pogosto organske snovi (T. Slabe, 1989, 212) in iz ogljika se tvori  $\text{CO}_2$ .

Skalna površina, ki je (bila) prekrita z naplavino, je pogosto preperela. Na njej so netopni ali počasneje topni ostanki kamnine. Preperelost je posledica počasnega odplakovanja produktov raztapljanja. Dolomit na stiku z glino postane mehak, po Ph. Renaultu (1968, 561, 562) namreč kisljena nenasičena drobnozrnata naplavina absorbira  $\text{Ca}^{2+}$ .

## 5. SKLEP

Poskusi z nadnaplavinjskimi žlebovi na mavcu so potrdili predpostavke (SLABE, 1987, 178) o njihovem oblikovanju s pretakanjem vode v zaliti coní nad drobnozrnato naplavino. Prispevali so tudi izhodišča za razlago njihovih različnih oblik. Počasnejša poplavna voda v slabše prepustnem rovu postopoma odlaga drobnozrnato naplavino. Pod stropom si izbere najbolj prevodne poti. Nastanejo manjši, počasnejši tokovi. Iz njih se useda ilovica in voda se vreže v strop. Razkorak med hitrostjo vodnega toka, iz katerega se odlaga drobnozrnata naplavina oziroma jo erodira, je namreč velik. Velikost in oblika žlebov sta posledica njihove prevodnosti in hitrosti odlaganja naplavine ter sestave in razpokanosti kamnine, v katero se zajedajo.





Sl.16 Podnaplavinska skalna površina

Fig.16. Sub-sediment rocky surface

S poskusom na mavcu sem deloma razčlenil tudi nastanek in razvoj podnaplavinjskih žlebičev. Vrezuje jih voda, ki se izceja iz drobnnozrnate naplavine. Oblikujejo se torej, ko se zniža gladina vode v votlini. Gostota razporeditve žlebičev in njihova velikost sta posledici količine vode, ki se izceja. Njihova oblika pa je določena predvsem z naklonom površine, po kateri polzi voda. Na navpični površini so žlebiči enaki po vsej dolžini, na previsnih stenah pa se navzdol širijo. Za nastanek podnaplavinjskih žlebičev so potrebne velike količine naplavine ali pa pogostost poplavljanja.

Z nadaljnjimi poskusi bi lahko natančneje določili izpostavljena razmerja dejavnikov, ki vplivajo na oblikovanje opisanih skalnih oblik.

## LITERATURA

- Bretz, J. H., 1956: Caves of Missouri.- Rolla, Missouri.  
Ford, D., P. Williams, 1989: Karst Geomorphology and Hidrology.- London. U. Hyman, 601 p.  
Jekić, M., M. Zlokolica, 1988: Pečina Piskovica.- Speleobih 1-2/88, 69-78, Sarajevo.  
Lange, A., 1959: Introductory notes on the changing geometry of caves structures, Caves studies 1-11, 69-90, San Francisco.  
Lauritzen, S.E., 1981: Simulation of rock pendants - small scale experiment.- 8<sup>th</sup> international congress of speleology, 407-409, Georgia.

- Mihevč, A., 1991: Ravni stropi, inicialni in stropni kanali ter stropne anastomoze na primerih jam Piskovice in Brloga na Rinskem.- Naše jame 33, 19-27, Ljubljana.
- Renault, Ph., 1968: Contribution à l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogèse.- Annales de Spéléologie 23/3, 529-596.
- Scheidegger, A.E., 1961: Theoretical geomorphology.- Berlin, Göttingen, Heidelberg
- Slabe, T., 1987: Jamske anastomoze v Dimnicah.- Acta carsologica 16, 167-179, Ljubljana.
- Slabe, T., 1989, MN: Skalne oblike v kraških jamah in njihov pomen pri proučevanju Dimnic, Križne in Volčje jame ter Ledenice na Dolu.- Magistrsko delo, Ljubljana.
- Slabe, T., 1989: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen.- Acta carsologica 18, 197-220, Ljubljana.
- Slabe, T., 1990: Skalne oblike v dveh poligenetskih jamah visokega krasa.- Acta carsologica 19, 165-196, Ljubljana.
- Zupan, N., 1990: Izvor in mineralna sestava jamskih peskov in ilovic.- Magistrska naloga, Ljubljana.

#### **NATURAL AND EXPERIMENTAL CAVE ROCKY RELIEF ON THE CONTACT OF WATER AND SEDIMENTS**

##### **Summary**

At the contact of the fine grained sediments the water frequently carves the along sediment rocky relief in the rim of the karst caverns. It consists of the supra-sediment and sub-sediment rocky features. Supra-sediment half tubes and small niches are characteristic for the channels which were filled up by the flood sediments. Due to water flow above the loam in the flooded channel the half tubes elevate the ceiling and the water carves against the walls when it percolates downwards. Water coming into the filled up channels through the fissures could form solution cup at the mouth. Tiny niches occur on the rock along the humid sediment itself. The supra-sediment rocky features are characteristic for the contact karst caves which were in Pleistocene frequently filled up by the fine grained sediments.

Sub-sediment rocky features form a part of the passages rocky relief; at times through them slow water streams flow and fine grained sediments are deposited on the rim. These forms are half tubes and niches, wall indentations and roof pendants and cups and wall pockets. Their occurrence is due to water filtering off the sediments (half tube), to corrosion below the humid deposit (niches) when high waters recede or to solution of the bare rock in the flooded channels (rock indentations, roof pendants). Namely the sediment prevents the contact of water and wall on some places. In periodically flooded channels the traces of smaller quantities of fine grained sediments deposition prevail above the features which are the result of water streams. The water level oscillation is the result of short lasting changes in the climatic conditions of our karst.

The mentioned rocky features are controlled by the rock solution. The dissolution is accelerated by the inflow of fresh flood waters flowing from

Table 1

## Rocky features on the contact with sediment

ROCKY	FEATURES	FACTORS OF FORMATION	CONDITIONS OF/ PROCESS FORMATION/ ON THE ROCK
SUPRA- SEDIMENT	ceiling, wall half tubes anastomoses solution niches solution flutes	smaller flows above the sediment humidity in the sediment or water inflow to the sedim.	phreatic zone phreatic zone phreatic zone corrosion
SUB- SEDIMENT	half tubes solution niches roof solution flutes roof pendant wall notches sediment	filtering of water from the sediment humidity in the sediment filtering of water from the sediment water on the contact with the sediment water above the	vadose zone vadose zone vadose zone phreatic zone phreatic zone corrosion corrosion

non-carbonate rocks mostly. The water becomes aggressive due to the deposits as organic matters dissolved in them are frequent (Slabe, 1989, 212) and because of carbon presence  $\text{CO}_2$  is formed. An evidence for corrosion indentations is given by the surface of the rocky features which is unsmooth.

I tried to explain the origin of most of the cited rocky features by their shape properties, situation on the rocky rim and by the conditions generating them. The results related to the origin of supra-sediment half tubes and sub-sediment half tubes were completed by the experiments in plaster.

The experiments with supra-sediment flutes in plaster have confirmed the hypothesis about their formation due to water flow in phreatic zone above the fine grained sediments. They contributed the starting-point for the explanation of their diverse forms. Slow flood water in less permeable channel gradually deposits the fine grained sediments. It chooses the simplest way near the ceiling. Smaller and slower flows occur. The loam is deposited and the water trenches in the roof. The difference between the velocity of the water flow, either depositing fine grained sediments or eroding them is namely big. The size and the shape of the half tubes are controlled by their transmissivity and by the velocity of sediment deposition, lithology and the joints in the rock where the entrenchments are.

By the experiments in plaster I partly classified the origin and the development of the sub-sediment half tubes. They are incised by water filtered from the fine grained sediment. Namely they are shaped when the water level lowers in a cave. The density of their distribution and their size are controlled by the quantity of filtered water. Their shape depends on the inclination of the surface where the water is seeping. On the vertical surface the half tubes are equal on the whole length, on overhang walls they are widened downwards. For the sub-sediment half tubes development a lot of deposits or frequent floods are required.



By further experiments one could more precisely define the relation of factors influencing on the described rocky features formation.

**SLEDENJE VODA V KRAŠKEM ZALEDJU KRUPE V  
JV SLOVENIJI**

**WATER TRACING IN KRUPA KARST CATCHMENT, SE  
SLOVENIA**

**PETER HABIČ - JANJA KOGOVŠEK**

**Izvilleček**

UDK 556.34.04(497.12-12)

**Habič, Peter & Janja Kogovšek: Sledenje voda v kraškem zaledju Krupa v jugo-vzhodni Sloveniji**

Speleohidrološke raziskave in sledilni poskusi v letih 1990 in 1991 so prispevale pomembne nove izsledke o pretakanju vode v apnenčasto dolomitnem vodonosniku med Krupo, Težko vodo in Metliškim Obrhom na razvodju med Krko in Kolpo v zahodnih Gorjancih (JV Slovenija). S tremi fluorescentnimi barvili in fagi so bile obarvane ponikve v Rožnem Dolu, Bajerju, na Gorjancih in v Malinski dragi. Ugotovljene so zveze z izviri Krupa, Topliške Sušice, Metliškega Obrha in Težke vode. V zaledju teh izvirov je široka bifurkacijska cona, ki napaja več izvirov hkrati. Dolomit v narivni strukturi predstavlja le visečo bariero in pod njim se vode normalno kraško pretakajo. Na podlagi strukturne razporeditve vrtač je nakazana najprimernejša lokacija za črpanje kraške podtalnice izven onesnaženega območja Krupa.

Ključne besede: Kraški vodonosnik, sledenje voda, kraška bifurkacija, razpored vrtač, Krupa, Bela krajina, Slovenija

**Abstract**

UDC 556.34.04(497.12-12)

**Habič, Peter & Janja Kogovšek: Water tracing in the Krupa karst catchment, SE Slovenia**

Speleohydrological researches and water tracing tests in the years 1990 and 1991 contributed important new results on water circulation in limestone dolomitic aquifer among Krupa, Težka voda and Metliški Obrh on the watershed between Krka and Kolpa in the western Gorjanci Mt. (SE Slovenia). By three fluorescent dyes and phages the swallow holes in Rožni Dol, Bajer on Gorjanci and Malinska draga were traced. The connections with the springs of Krupa, Topliška Sušica, Metliški Obrh and Težka voda were established. In the catchment area of these springs a large bifurcation zone lies feeding several springs at a time. The dolomite in the overthrust structure presents a hanging barrier only and below it the waters flow in a usual karstic way. Related to the structural distribution of the dolines the best location for pumping the karst ground water out of polluted Krupa area was suggested.

Key words: karst aquifer, water tracing, karst bifurcation, dolines distribution, Krupa, Bela krajina, Slovenia

*Naslov - Address*

*Dr. Peter Habič, dipl.geogr.*

*Mag. Janja Kogovšek, dipl.ing.kem.*

*Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU*

*66230 Postojna, Titov trg 2*

*Slovenija*

## VSEBINA

Izvleček / Abstract .....	36
UVOD .....	39
POLOŽAJ IN OMEJITEV RAZISKOVANEGA OBMOČJA .....	40
GEOLOŠKA ZGRADBA .....	43
HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI .....	46
RELIEFNE ZNAČILNOSTI .....	46
STRUKTURNA RAZPOREDITEV VRTAČ .....	50
SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI .....	52
FIZIKALNO KEMIJSKE LASTNOSTI VODA .....	54
SLEDENJE V ROŽNEM DOLU IN BAJERJU .....	62
SLEDENJE NA GORJANCIH IN V MALINSKI DRAGI .....	64
POSKUSNA OMEJITEV ZALEDJA KRUPE .....	71
SKLEP .....	73
VIRI IN LITERATURA .....	75
WATER TRACING IN KRUPA KARST CATCHMENT, SE SLOVENIA (Summary).....	75



## UVOD

Kraški vodonosniki so redko tako obloženi z nepropustnimi kamninami ali izolatorji, da se iz njih prelivajo vode na površje le na enem mestu. V takšnih primerih je zaledje možno opredeliti že s poznavanjem geološke zgradbe in njenih hidrogeoloških značilnosti. V orogenih predelih z zapleteno geološko zgradbo so kraški vodonosniki različno razporejeni in se večinoma praznijo na več strani. Hidrogeoloških razmer ni mogoče opredeliti le z znanjem o geološki zgradbi, pač pa si je treba pomagati z različnimi metodami. Poleg zgradbe je potrebno poznati geomorfološke in speleološke značilnosti, koristne podatke o zaledju pa dobimo s sodobnimi sledilnimi metodami s pomočjo naravnih in umetnih sledil.

V kraški izvir Krupa v osrednji nizki Beli krajini se glede na njegovo izdatnost, okrog 500 l/s ob najnižjih vodah, stekajo vode iz obsežnega, geološko pestro sestavljenega kraškega vodonosnika, v katerem zaledja Krupe ni mogoče omejiti le na podlagi geomorfoloških in geoloških značilnosti. Pri opredeljevanju zaledja smo si torej pomagali tudi z zaporednimi ter kombiniranimi sledenji z umetnimi sledili. Pred onesnaženjem s polikloriranimi bifenili (PCB) je bila Krupa najperspektivnejši regionalni vodni vir. Po odkritju onesnaženja (PLUT, 1988) so bile raziskave najprej usmerjene v iskanje nadomestnih vodnih virov (HABIČ et al. 1990). Namen sedanjega preučevanja zaledja Krupe pa je ugotoviti njegovo dejansko razsežnost in možnost zajemanja podzemeljskih voda iz vodonosnika zunaj onesnaženega območja.

V okviru projekta Idejna rešitev regionalne preskrbe Bele krajine z vodo do leta 2050 smo po sprejetem programu preučili hidrogeološke in speleološke razmere v zaledju Krupe, opravili hidrološke in kemične analize voda in, v omejenih terenskih delovnih razmerah ob posebnih dogodkih v letu 1991, izvedli sledilne poskuse na bolj oddaljenih ponikalnicah ter z večjo količino sledil. Odločili smo se za poskuse, ki naj nakažejo poglavitne smeri odtoka voda iz kraškega vodonosnika med Krupo, Topliško Sušico, Težko vodo in Metliškim Obrhom.

Na podlagi osnovne geološke karte, lista Novo mesto in Črnomelj, ter objavljenih geoloških podatkov smo spoznali razpored različno zakrasedelih kamnin v širšem zaledju Krupe. S pomočjo morfostrukturne analize kraškega površja (nizi vrtač, kraške brazde, brezna in jame, uvale, doli, suhe in slepe doline, ponikalnice in neotektonske reliefne enote) smo skušali opredeliti poglavitne kraške drenažne cone in izbrati najprimernejše lokacije za izvedbo kombiniranega sledenja. Glede na že omenjene omejitve smo se odločili za ponikalnici v Rožnem Dolu, Ponikve na Gorjancih in Malinsko drago.

Hidrološke in kemične analize voda so v okviru načrtovanega kombiniranega sledenja zajele poleg ponikalnic na Gorjancih še izvire Topliške Sušice, Pete-

linca, Težke vode, Krupe, Metliškega Obrha, Metličice in Ušivca. Studenci v povirju Metliške Sušice so že na hrvaški strani, zato jih ob tej priložnosti nismo opazovali. Sicer so bile merjene temperature, prevodnost, pH, karbonatna in celotna trdota, razmerje Ca/Mg, poleg tega pa smo ugotavljali tudi količine kloridov, nitratov, o-fosfatov in sulfatov, ki nakazujejo stopnjo onesnaženosti in ekološke razmere v zaledju. Kemične analize sta opravili mag. J. Kogovšek in M. Zadel, analizirali sta tudi koncentracije sledil v vzorcih. Pri izvedbi sledenja so sodelovali F. Drole, J. Hajna, dr. A. Kranjc, mag. S. Šebela in mag. N. Zupan. Vsem se za pomoč in sodelovanje najlepše zahvaljujeva. Hvaležna sva tudi Maji Kranjc za pomoč in prevod povzetka.

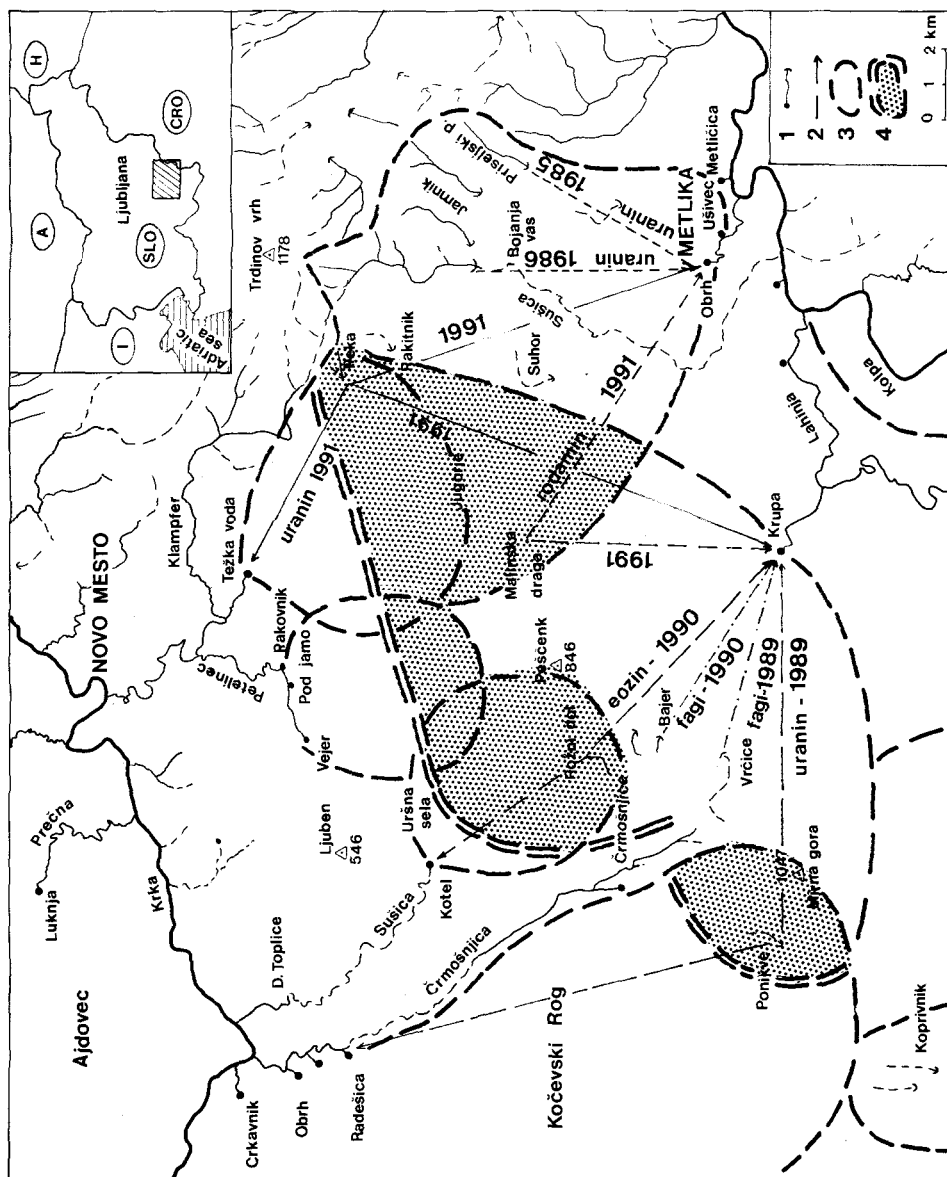
### POLOŽAJ IN OMEJITEV RAZISKOVANEGA OBMOČJA

Raziskave v letu 1990 in 1991 so bile omejene na območje kraškega vodnosnika zahodnih Gorjancev med med Krko in Kolpo, oziroma med izviri Topliške Sušice, Težke vode, Krupe in Metliškega Obrha (Slika 1). Najprej smo preučili hidrogeološke razmere zahodnega dela Gorjancev na razvodju med Krupo in Sušico. Z barvanjem ponikalnic v Bajerju in Rožnem Dolu smo dokazali stalno povezavo s Krupo in občasno s presihajočim izvirom T. Sušice. Tako je bilo skupaj s predhodnimi raziskavami v območju Mirne gore (HABIČ et al. 1990) opredeljeno zahodno zaledje Krupe v predelu med Kočevskim Rogom in Gorjanci. Ob barvanju Ponikev na Mirni gori se je uranin pojavil razen v Ra-deščici ob Krki tudi v Krupi. S tem je bilo ugotovljeno prvo bifurkacijsko območje v kraškem zaledju Krupe v južnem delu Kočevskega Roga. Iz visoke Mirne gore, zahodno od črmošnjiškega preloma, se del voda odceja pod ali ob bloku triasnega dolomita med Vrčicami in Črmošnjicami v Krupo. S sledenjem Rečice pri Vrčicah s fagi (M. BRICELJ) je bil odtok s tega območja v Krupo tudi dokazan.

Drugi hidrografski vozal na razvodju med Krupo in Krko predstavljajo ponikalnice v Rožnem Dolu, pri Prelogah in Bajerju. Vode se stekajo z dolomitnih grap in potoki ločeno ponikajo v dnu okrog 3 km dolge in 1 km široke ter prek 100 m globoke uvale v nekdanjem povirju Topliške Sušice. Dno globeli je pri Rožnem Dolu v višini okrog 310 m in požiralne rupe so razporejene sredi naplavne ravnice. Požiralniki Preloškega potoka so razporejeni v ožji grapi in v njenem južnem kotu ponikajo vode Bajerja. Ta je delno zajezen z betonsko pregrado v dolomitni grapi. Nekdaj so iz Bajerja oskrbovali parne lokomotive na belokranjski progi. Obsežna kraška globel Rožni Dol je nastala z izdatnim podzemeljskim spiranjem, vendar doslej ni bilo znano, ali je to usmerjeno v Krupo, ali v T. Sušico.

Na severni strani zahodnih Gorjancev so kraški izviri razporejeni ob potoku Petelinec, ki teče sprva proti vzhodu skoraj vzporedno s Krko. Nekako od Birčne vasi do Črmošnjic pri Stopičah se vrstijo Vejer, Pod Jamo, Rakovnik in dva izvira južno od Črmošnjic. Med dolino Petelinca in Krko ni izdatnejšega stalnega kraškega izvira. Znani so le manjši prelivni studenci, ki napajajo kratke desne pritoke Krke. Koliko kraške vode odteka neposredno v Krko med Vavto vasjo in Novim mestom, še ni znano.

Najizdatnejši desni pritok Krke je Težka voda s kraškimi izviri vzhodno od potoka Petelinca. Ti so zajeti za novomeški vodovod. Še bolj vzhodni potok



Slika 1. Hidrografska skica ozemlja med Krko in Krupo

1) ponikalnica z izvirom in ponorom, 2) dokazana vodna povezava, 3) zaledje kraškega izvira, 4) bifurkacijsko zaledje Krupe,

Fig. 1. Hydrographic sketch of the area between Krka and Krupa

1) sinking stream with spring and ponor, 2) proved water connection, 3) catchment area of the karst spring, 4) bifurcation catchment area of Krupa



Klampfer ima že skoraj v celoti površinsko hidrografsko mrežo, ki skupaj s Težko vodo pripada Krki. Vodo zbira izpod najvišjega predela Gorjancev južno od Gabrja. Vmesni predel med Uršnimi seli in Težko Vodo ter Dolžem je brez površinskih voda, tipično kraški, poln vrtač in plitvih globeli, ki so večinoma nanizane v dnu suhih dolin. Po njihovem razporedu sklepamo na nekdanji površinski odtok z najvišjega hrbta proti severu v Krko.

Osrednji hrbet zahodnih Gorjancev je na južni strani med Semičem in Jugorjem odrezan s strmo semiško rebrijo. Od njenega vznožja do Krupe se razteza nizek kraški ravniki. Med posameznimi hrbti in kopami so plitvi vrtačasti doli. Njihov razpored ne kaže smeri nekdanjih površinskih tokov, pač pa so nizi dolov in vrtač skladni z razpokanostjo in prepustnostjo kraške podlage. Celotno površje je rahlo nagnjeno proti jugu h Krupi in Lahinji, ki sta si svoji površinski strugi kanjonsko zarezali v belokrajnski ravniki.

Kanjon Krupe, dolg poldrug kilometer in globok 20 do 30 m, je prav nenavadno poglobljen v kraško vrtačasto uravnavo. Izvir Krupe je pod prepadno steno, nad katero ni znakov starega površinskega toka. Kolenasto zaviti kanjon Krupe predstavlja morfološko uganko, ki še ni zadovoljivo pojasnjena. Če je dolina Lahinje v celoti antecedentna in zarezana v dvignjen hrbet med Kanižarsko in Metliško kadunjo, je sorodnega nastanka verjetno tudi kanjon Krupe, le s to razliko, da se izvir zadenjsko ni bistveno oddaljil od Lahinje po vrezovanju kanjona v kraško uravnavo. Med Krupo in Metliško Sušico ni ob Lahinji pomembnejših izvirov in površinskih pritokov, ki bi nakazovali smer odtekanja vode. Le v predelu med Primostkom, Krvavčjim Vrhom in Metliko je nizko površje prepreženo s suhimi dolinami, ki so jih verjetno oblikovali nekdanji levi pritoki Lahinje.

Med Jugorjem, Suhorjem in Metliko se kraški ravniki vzhodno od Krupe prelomi v strmo suhorskoreber, ob kateri se površje povzpema v osrednje Gorjance in Žumberak. Z njih visi svet proti jugu h Kolpi. Delno je razrezan s površinskimi potoki, delno pa je površje kraško. Površinske grape so usmerjene večinoma proti jugozahodu in v njih ponikajo potoki z višjih, manj zakrasedlih slemen. Metliška Sušica je med temi potoki najgloblje zarezala svojo strugo, le redko pa po njej voda tudi priteče do Kolpe. Potok se izgublja na več mestih. Najprej pod Radatoviči, nato nižje pri Brezovici in kočno v soteski med Bušinjo vasjo in Trnovcem. Nekdanji levi pritoki Sušice, kot grapa pri Kamencih, Stublenka, Jamnik in Preseljski potok, ponikajo v grapah visoko nad Sušico. Del teh pritokov je nekoč sestavljalo površinsko omrežje Sušice in Metliškega Obrha. Ta izvira sedaj v zatrepni dolini v Metliki.

Metliški Obrh je najizdatnejši kraški izvir v severovzhodnem delu Bele krajine in se neposredno izliva v Kolpo. Zajet je za oskrbo Metlike. Poleg majhne izdatnosti ob suši pa za oskrbo ni najbolj primeren, ker se precej kali, in ker ima naseljeno ter onesnaženo nizko kraško zaledje. Metlika in vasi pod Gorjanci bi potrebovale ugodnejši vodni vir. V tem predelu so sodelavci Geološkega zavoda iz Ljubljane skušali z vrtanjem v zadnjih letih zadeti izdatnejšo vodno žilo, ki bi nadomstila Obrh (NOVAK, 1989).

Kraško zaledje Metliškega Obrha doslej še ni bilo podrobneje opredeljeno. Hidrološke razmere je delno preučil NOVAK (1989), ki je z barvanjem dokazal, da se Sušica iz požiralnikov pod Radatoviči odteka v M.Obrh, tja pa so usmerjene tudi vode iz Jamnika in Priseljskega potoka. Pri pregledu hidrografskih in reliefnih značilnosti površnega dela M. Sušice in Klampferja ter osrednjih Gorjancev smo našli majhno ponikalnico Reko v Ponikvah severno od Popove rus-

tinje, ki doslej še ni bila barvana. Z lego blizu razvodja med Krko in Kolpo je vabila k posebnemu sledilnemu poskusu.

V predelu med Rožnim Dolom in osrednjimi Gorjanci ni nobene druge ponikalnice, ki bi jo lahko sledili kot Reko na Ponikvah. Pregledali smo tudi tamkajšnje jame in brezna, vendar nismo našli primernege mesta za sledilni poskus z zalivanjem. Še najprimernejše mesto za vlitje sledila smo našli v lijakasti vrtači v Dragi pod Malinami, kjer smo ročno prevrtali ilovico v vrtači in v najprepuščajšo vrtino vlili barvilo in dolili pripeljano vodo.

## **GEOLOŠKA ZGRADBA OZEMLJA MED KRKO IN KRUPO**

Po strukturno facialni zgradbi, kot jo je opredelil PREMUR (1982), pripada ozemlje zahodnih Gorjancev notranjski in dolenski podconi furlanske cone Zunanjih dinaridov. Odložene so debele skladovnice pretežno karbonatnih kamnin, apnencev in dolomitov. Na prehodu eocena v oligocen so bili skladi nagubani in narinjeni, kasneje pa dodatno prelomljeni, posamezni bloki pa dvignjeni ali pogrezneni. Tektonsko razčlenjeno površje je bilo že precej znižano in delno uravnano, nato pa so mladi tektonski premiki ob starih in novih prelomnih conah ozemlje ponovno razkosali. Današnje hidrogeološke in morfološke razmere so tako posledica večfaznega geološkega in morfološkega dogajanja.

V obravnavanem predelu so najstarejše kamnine noriški in retski sivi plastnati in svetli neplastnati dolomiti. Gradijo del ozemlja med Novim mestom in Gorjanci, med Gorjanci in Metliko ter v okolici Črmošnjic ter Rožnega Dola. Postopno prehajajo navzgor v liasni apnenec z vložki dolomita. Debelina zgornje triasnega dolomita znaša do 1200 m. Ob prelomih se stika triasni dolomit s krednimi in jurskimi apnenci, kar pomeni, da so bili posamezni bloki dolomita višje dvignjeni, mlajše krovne plasti na njih pa erodirane. Obstaja še druga možnost, da so dolomitni bloki del pokrova, ki je bil narinjen prek mlajših krednih in jurskih kamnin. Ponekod je dolomit prekrit z zgornje krednimi kamninami, kar naj bi dokazovalo starejše tektonsko prelamljanje in dviganje podlage v balatonski prelomni coni.

Jurski skladi so na obravnavanem ozemlju najbolj razširjeni. Grade območje od Krke proti Rožnemu Dolu in Radohi, del osrednjega hrbta Gorjancev in nizko vzhodno zaledje Krupe tja do Suhorja. Pomemben delež imajo jurske kamnine tudi v porečju Sušice med Rosalnicami, Radovico, Bušinjno in Bojanjo vasjo. Prevladuje svetlo sivi apnenec, na katerega so večinoma diskordantno odloženi zgornje kredni pelagični sedimenti.

Sklade spodnjega in srednjega liasa sestavljajo siv skladovit oolitni apnenec, apnenec z litotidami, brečasti apnenec, apnenec z roženci in bel zrnat dolomit. Skupna debelina teh plasti znaša okrog 120 m. Grade dolino Sušice med Uršnimi seli in Dolenjskimi Toplicami. Posamezne zaplate so ohranjene na triasnem dolomitu pri Lakovnicah, Podgradu in severno od Cerovca, pri Vahti in pod Doljani.

Zgornje liasni in dogerski skladi sivega oolitnega gostega apnenca grade ozek pas ob zahodnem vznožju Ljubna in, vključ skupni debelini okrog 200 m, na površju nimajo pomembnejše vloge. Nekaj večji del površja grade spodnje malmski svetlosivi skladoviti in grebenski apnenci. Najdemo jih med Uršnimi seli, Ljubnim in Dolenjskimi Toplicami ter pri Ruperč Vrhu ob severnem vznož-

ju Gorjancev. Na južni strani pa grade območje med Bojanjo vasjo, Metliko in Rosalnicami. Njihova skupna debelina znaša okrog 200 m.

Zgornje malmski beli in sivi skladoviti in grebenski apnenci z redkimi plastmi dolomita in oolitnega apnenca leže diskordantno na zgornje triasnem dolomitu vzhodno od Rožnega Dola. Grade širše območje vzhodnega, višjega dela Bele krajine med Primostkom, Krvavčjim Vrhom in Jugorjem, pa tudi del višjega Lipovca in Velikega vrha nad Vahto. Pomembnejše površine zavzemajo tudi med Uršnimi seli, Mraševim in Brodom pri Novem mestu. Skupna debelina teh skladov je ocenjena na 600 do 800 m.

Valangtijski spodnje kredni siv do črn, delno ooliten skladovit apnenec je ohranjen le v manjših krpah med Uršnimi seli in Stransko vasjo. Neokomski spodnje kredni apnenci in dolomiti so razporejeni v severnem delu belokrajnskega ravnika, zahodno in vzhodno od Krupe, kjer so v tektonskem stiku z zgornje jurskimi kamninami. Njihova debelina znaša 300 do 600 m.

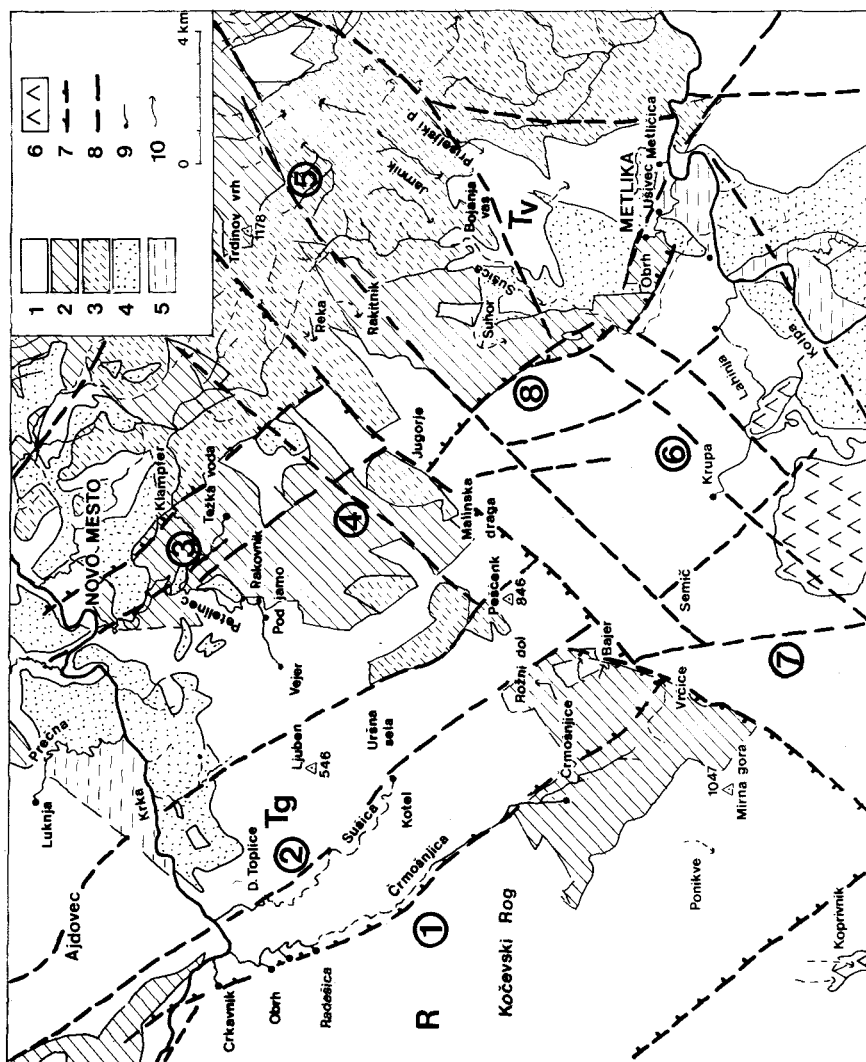
V ožjem zaledju Krupe zavzemajo največje površine baremijski in aptijski apnenci in dolomiti spodnje krede, celotni kompleks je debel 500 do 700 m. V jedru sinklinale, v katero je zarezan kanjon Krupe, se nahajajo albijski spodnje kredni bituminozni apnenci in dolomiti, skupne debeline do 500 m. Prehodi med albijskimi in aptijskimi skladi so v zaledju Krupe tektonski, kar nakazuje izrazita razlomljenost in razmaknjenost tektonskih blokov. S pretrtostjo pa je nedvomno povezana tudi hidrogeološka funkcija debele skladovnice karbonatnih kamnin.

Zgornje kredni skladi se na območju listov Novo mesto in Črnomelj pojavljajo v dveh razvojih. Cenomanijski in turonijski sivi ploščasti apnenci grade manjše tektonsko omejene enote v območju Radohe in Riglja ob spodnji Črmošnjici. Pelagični razvoj zgornje krede s pretežno lapornatimi, peščenimi in brečastimi kamninami je značilen za vzhodni del zaledja Krupe in Težke vode. V spodnjem delu je siv in črn apnenec s polami in gomolji črnega ali sivega roženca in zelenega ali rdečega lapornatega skrilavca s polami roženca. Zgoraj leži rdeč ploščast apnenec, rdeč in siv laporast in glinast skrilavec s polami roženca, vmes so debeli vložki apnenčeve breče, pomemben je še siv sljudnat peščenjak, ki je podoben flišnemu krednemu peščenjaku. Pri Popovi rustinji leži med ploščatim apnencem 10 do 20 m debela plast apnenčevega konglomerata.

Zgornje kredni skladi v pelagičnem razvoju imajo na razvodju med Krko in Krupo ter Obrhom pomembno hidrogeološko funkcijo. Glede na različno sestavo niso enakomerno prepustni, ponekod je na njih razvita površinska rečna mreža, drugod so razpoklinsko prepustni ali vsebujejo lokalne vodonosnike, ki hranijo manjše izvire. Zaradi nekarbonatnih sestavin nastaja na njih debelejša plast preperine, ki je dobra podlaga za rodovitno obdelovalno površino. (PLENIČAR & PREMUR, 1977; BUKOVAC et al. 1984).

V zgradbenem pogledu pripadajo navedene kamnine različnim narivnim enotam. Po PREMURJU (1982) pripada zaledje Krupe v širšem smislu narivni strukturi Zunanjih Dinaridov in dinarsko balatonskli narivni strukturi. Območje med zahodnimi Gorjanci in Krko pripada topliško – gorjanskemu narivu (TG na sliki 2), med Krupo in Gorjanci pa črnomaljski plošči ali roškemu narivu (R). Vzhodni del Bele Krajine pripada metliškemu narivu, ki ga Premur imenuje topliško – vivodinski nariv. Očitno gre na območju Gorjancev za dvojno narivno zgradbo, starejšo zunanje dinarsko in mlajšo dinarsko balatonsko.

Poleg gub in narivov so geološko pomembni prelomi in mladi tektonski premiki ob njih. Med pomembnejšimi prelomi naj omenimo žužemberški (1) (sl.2) in



**Slika 2. Hidrogeološka skica kraškega vodonosnika med Krko in Krupo.**

1) apnenec, 2) dolomit, 3) fliš, 4) pliokvartarni pesek in ilovica, 5) kvartarna glina, 6) terra rossa, 7) nariv (R - roški, Tg - topliško gorjanski, Tv - topliško vivodinski), 8) pomembnejši prelom (1 - žužemski, 2 - topliški, 3 - novomeški, 4 - orhovski, 5 - soški, 6 - črešnjevski, 7 - semiško radenski), 9) kraški izvir, 10) ponikalnica.

Fig. 2. Hydrogeological sketch of the karst aquifer between Krka and Krupa (Referring to Basic Geological Map, sheet Novo mesto and Črnomelj, arranged by P. Habič)

1) limestone 2) dolomite 3) flysch 4) plioquaternary sand and loam 5) quaternary clay 6) terra rossa 7) over-thrust (R - Rog, Tg - Toplice Gorjanci, Tv - Toplice Vivodina 8) important faults ( 1 - Žužemberk, 2 - Toplice, 3 - Novo mesto, 4 - Orehova vas, 5 - Sošice, 6 - Črešnjevci, 7 - Semič Radenci 9) karst spring 10) sinking stream

topliški prelom(2) na zahodni strani ter novomeški (3) in metliški prelom (8) na vzhodni strani obravnavanega ozemlja. V osrednjem delu sta pomembna prečno dinarska preloma, ob katerih je dvignjen horst Gorjancev. Na severni strani ga omejuje orehovski prelom (4), na južni pa soški prelom (5), proti jugozahodu ob stiku s topliškim in žužemberskim ta dva preloma nekako izgubita svojo morfološko veljavo.

### **HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI KRAŠKEGA VODONOSNIKA**

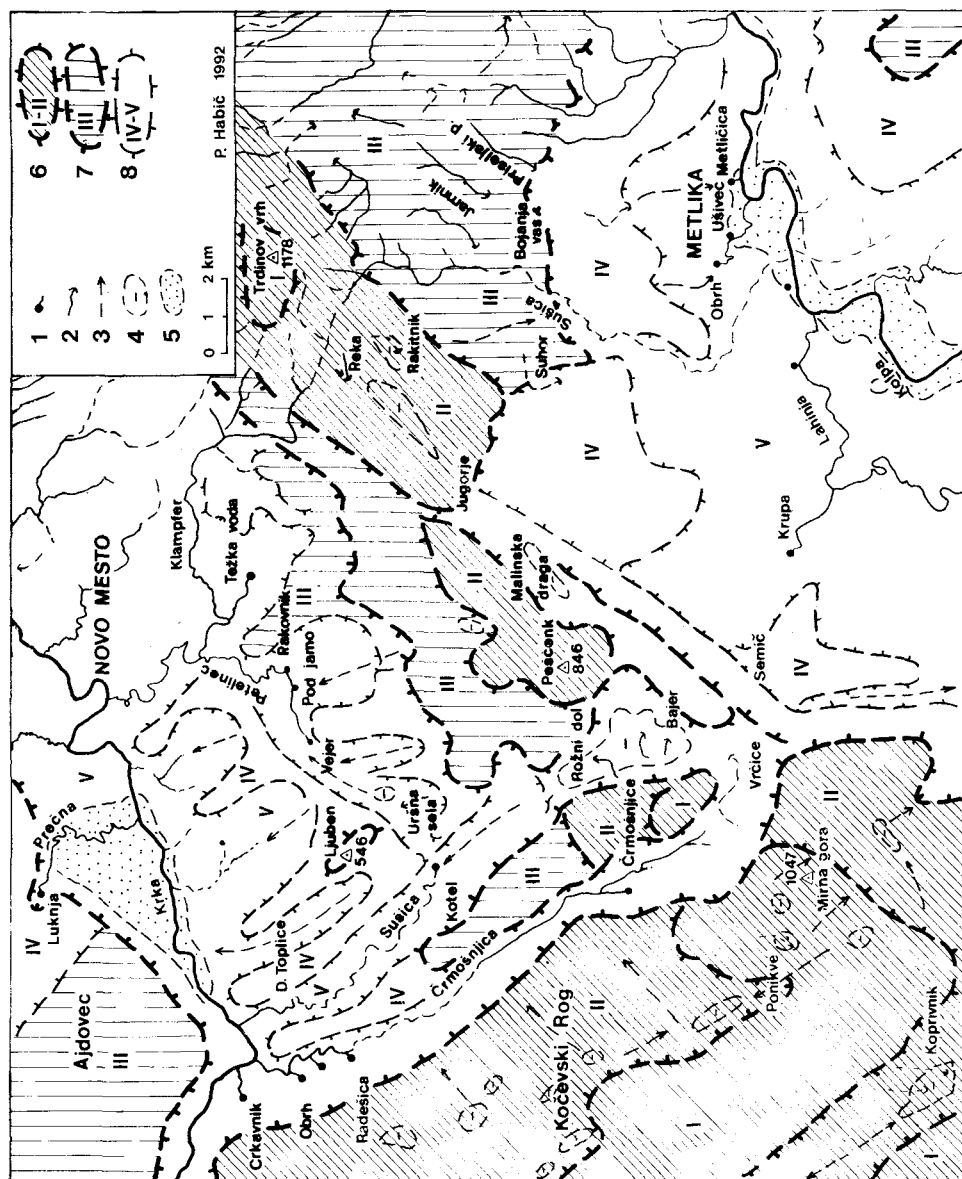
V skladu z litološko sestavo in tektonsko zgradbo imamo na ozemlju med Krko in Krupo opravka s sestavljenim kraškim vodnosnikom. Manjšo relativno višjo hidrogeološko bariero predstavlja triasni dolomit z delno površinsko vodno mrežo pri Črmošnjicah, Vrčicah in Rožnem Dolu. Dolomitno zaledje Težke vode in Metliškega Obrha je očitno bolj zakraselo in ne kaže znakov hidrološke bariere. Domnevamo, da je tam dolomit narinjen na dobro zakrasele apnenice, ki omogočajo globinsko kraško odcejanje. S tem se skladajo hidrološke značilnosti omenjenih izvirov in dokazane podzemeljske vodne zveze.

Površinski potoki z dolomita pri Črmošnjicah ponikajo ob stiku z bolj zakraselimi apnenici. V Rožnem Dolu so požiralniki v samem dolomitu. Globoka dolomitna uvala pa je nastala v prepustni coni ob topliškem prelomu. Z bolj prepustno cono ob toplišem prelomu je povezan razmeroma hiter podzemeljski odtok v Krupo, kar je bilo ugotovljeno z barvanjem Bajerja in Rožnodolskega potoka.

Sklenjenost karbonatnih kamnin omogoča medsebojne hidrološke povezave v celotnem kraškem vodnosniku, iz katerega se prelivajo podzemeljske vode na površje le v treh stalnih in enem občasnem izviru. Izviri ob Petelincu in manjši desni pritoki Krke med Vavto vasjo in Novim mestom le delno drenirajo manjše lokalne vodnosnike. Podobno velja tudi za Ušivec pri Metliki in Metličico pri Rosalnicah. Poglavitne izlive iz sklenjenega kraškega vodnosnika predstavljajo izviri Težke vode, Krupe in Metliškega Obrha. Podzemeljska razmejitev med njimi bi bila mogoča le s podrobnejšimi geološkimi raziskavami, hidrološkimi analizami in sledenji. Tudi še ni znano, kam odtekajo nizke vode iz zaledja Topliške Sušice, ki kmalu po dežju presahne. Pravtako ni znano, kolikšen del podzemeljskih voda iz tega vodnosnika odteka neposredno v Krko med Vavto vasjo in Novim mestom ter v Lahinjo med Črnomljem in Metliko.

### **RELIEFNE ZNAČILNOSTI KRAŠKEGA VODNOSNIKA MED KRKO IN KRUPO**

V zaledju Krupe ločimo več reliefnih enot, ki so nastale v skladu z geološko zgradbo, z mladimi tektonskimi premiki in s klimatsko prilagojenim geomorfološkim razvojem. V ožjem zaledju izvira Krupe je izoblikovan tipični kraški vrtačasti ravnik, ki sega do vznožja Mirne gore na zahodu in Semiške gore ter Gorjancev na severozahodu in severu. Na severovzhodno stran se vse bolj razčlenjeni kraški ravnik položno dviga do strmejšega roba nad Jugorjem in Suhorjem, prek katerega se površje vzpenja v Žumberak oziroma Gorjance. Kopasto kraško površje zahodnih Gorjancev se proti severu stopnjasto znižuje v južno obrobje Novomeške kotline in je torej nagnjeno h Krki. Relief je pretežno kraško oblikovan. Med položnimi kopastimi vzpetinami so ravnote in plitvi doli



Slika 3. Morfološka skica ozemlja med Krko in Krupo

1) kraški izvir, 2) ponikalnica, 3) suha dolina, 4) uvala, 5) aluvialna ravni-  
ca, 6) visoka kraška planota (I. 800-1100m, II. 600-800m), 7) srednja kraš-  
ka planota (III. 400-600 m), 8) nizka kraška planota (IV. 200-400m) in kraš-  
ki ravniki (V. 150-200m).

Fig. 3. Morphological sketch of the area between Krka and Krupa

1) karst spring 2) sinking stream 3) dry valley 4) ouvala 5) alluvial plain  
6) high karst plateau (I. 800-1100 m, II. 600-800 m) 7) medium karst pla-  
teau (III. 400-600 m) 8) low karst plateau (IV. 200-400 m) and karst pe-  
neplain (V. 150-200 m)

posejani s številnimi vrtačami. Prečne in podolžne vrzeli so izoblikovane ob pomembnejših prelomnih conah, opazni pa so tudi sledovi prvotne fluvialne reliefne zasnove (Slika 3). Geomorfološki razvoj Bele krajine je podrobneje preučeval GAMS (1961), strukturne oblike in morfološke enote kraške Bele krajine pa so predstavljene v dveh razpravah (HABIČ, 1984 in HABIČ et al. 1990).

Na triasnem dolomitu med Črmošnjicami in Rožnim Dolom, ki pripada dvignjeni zgradbeni enoti Mirne gore, je del površja kraškega, del pa fluvialnega s površinskim odtokom voda. Dolomit je razlomljen in zdrobljen ob žužemberškem in ob topliškem prelomu. Ob prvem je izoblikovano črmošnjiško, ob drugem pa sušiško podolje. Vmes je dvignjen kraški hrbet Vimol. Na vzhodni strani se dolomit ob topliškem prelomu stika s krednimi apnenci, ki morfološko pripadajo zahodnim Gorjancem, geološko pa osrednji belokranjski oziroma črnomaljski narivni enoti. Ob tem stiku je izoblikovan Rožni Dol.

Rigeljsko vimolski hrbet med Črmošnjiško in Sušiško dolino dosega v Markovi glavi med Črmošnjicami in Rožnim Dolom višino 755 m, pri Dolenjskih Toplicah pa le še okrog 200 m. Zahodna reber tega hrbita je ob Črmošnjici bolj strma kot ob Sušici. Ob prečnih rebreh in prelomnih conah se hrbet stopnjasto znižuje h Krki. Podobno zniževanje je značilno tudi za kraško površje v Gorjancih vzhodno od topliškega preloma. Najvišji preval južno od Rožnega Dola je v višini okrog 465 m, na severni strani pa na 420 m. Tudi po drugih morfoloških značilnosti ob dolu sodimo, da se je nad temi prevali površje prvotno oblikovalo s površinskim spiranjem proti severozahodu. V prelomni coni je nastala dober kilometer široka dolina, kar potrjujejo tudi police pri Brezju in Potokih, pri Prelogah in pod Pribišjem. Kasneje je bil Rožni Dol okrog 100 m kraško poglobljen ob stiku dolomita in apnenca. Vode so podzemeljsko odnesle iz Rožnega Dola okrog 130 milijonov kubičnih metrov kamnine, zato lahko računamo z izdatno prevotljenostjo apnencev tako proti Sušici kot proti Krupi.

Struga Sušice med Dobindolom in D. Toplicami je kanjonsko poglobljena v široko zakrasedo dolino. Ta se nadaljuje v širok vrtačast dolinski zatrep med Lazami in Travnim dolom v višini med 250 in 300 m. Deber Sušice se začneja šele pod Dobindolom, kjer je izvir Kotel v višini okrog 185 m. Strmec Sušice znaša do Dolenjskih Toplic na razdalji 6,5 km  $2,3^\circ/\text{‰}$ . Izvir Kotel leži ob stiku dobro prepustnih krednih apnencev ter manj prepustnih jurskih dolomitov, v katere si je Sušica lahko poglobila površinsko strugo. Od Rožnega Dola do Kotla je 5,5 km in 130 m višinske razlike, navidezni strmec znaša torej  $23,6^\circ/\text{‰}$ . Iz Rožnega Dola do Krupe je 7,5 km in 185 m višinske razlike, zato je tudi navidezni strmec nekaj večji,  $24,6^\circ/\text{‰}$ . Bolj kot navidezni strmec pa je hidrološko pomemben 50 m niže ležeči izvir Krupe. Nizke vode se iz območja Rožnega Dola lažje odteka v Krupo, Sušica pa presiha, ko se zniža gladina kraške vode ob manj prepustnih jurskih kamninah. Pri višjih vodah se pretoki Sušice okrepijo na račun zaledja Krupe, kot nakazujejo z barvanjem ugotovljene zveze in opazovani pretoki.

Strma in nekaj na 300 m visoka semiška reber loči zahodne Gorjance od nizkega belokrajnskega ravnika v ožjem zaledju Krupe. Sledimo jo lahko od Kota mimo Semiča, Vrtače in Osojnika proti Jugorju. Med Osojnikom in Jugorjem je vzdolžno razrezana in se nekako konča v brezovi rebri, nadaljuje pa se s severneje ležečo malinsko rebrijo, ki mimo Sel prehaja v preval Vahta nad Jugorjem. Izrazita morfološka meja očitno nima pomembnejše hidrološke funkcije. Na Semiški gori so tik nad rebrijo razvrščeni široki kopasti vrhovi od Semeniča (590), čez Sv. Lovrenc (546) in Smuk proti severovzhodu na Pleš (626),

Črešnjice (604) in Hom (576) nad Osojnikom. Hom položno prehaja v Brezovo reber (461), za katero je globok dol Malinske drage. Drugi vzporedni niz podobnih vrhov se vleče iznad Malinske drage od najvišjega Peščenka (846) prek Škrbca (774) na Veliki vrh (727) severno od Sel. Ta niz vrhov pripada višjemu zahodnemu delu Gorjancev, ki ga imenujemo tudi Radoha. Med nizom Semiške gore in Radohe se nekako osamljen dviga Kamnji vrh (672) in predstavlja stopnjast prehod z najvišjega Peščenka na Pleš in Črešnjice.

Stopnjasta razporeditev polic in nagnjenost površja proti severu je značilna tudi za Radoho. Izrazita nižja polica se začneja s Kilovcem (661), severno od Peščenka (846). Vmes je značilni strukturni predol, ki ga lahko spremljamo proti severovzhodu mimo Cesarja (628) in V. Cerovca (506) proti Dolžu. Nekako vzporedno s kilovsko-cerovsko polico poteka severneje nižja široka kraška ravnota od Gornjih Laz, prek Mihovca, Jurne in Koroške vasi, proti Težki vodi, Stopičam in Hrušici v novomeškem podgorju Gorjancev. V to planotasto površje se s severa zajedajo široki zatrepi, ki se iztekajo v ravnote med Uršnimi seli ter Birčno in Stransko vasjo. S tega kraškega planotastega površja štrli podolgovat, dinarsko usmerjen hrbet Ljubna (546), ki ga na zahodni strani spremlja široka nerazčlenjena kraška polica. Ta visi od Ljubanca(385) mimo Drganjih sel (287) do Cviblja (293) in široke ravnice med Rumanjo in Vavto vasjo na desnem bregu Krke v višini med 160 in 200 m. Podobno se znižuje tudi površje na vzhodni strani Ljubna od Birčne do Jurke vasi in Novega mesta. Ta predel je reliefno bolj razgiban in razčlenjen s suhimi dolinami, usmerjenimi h Krki.

Vzhodno od Stranske vasi je Podgorje razčlenjeno z dolinami potokov Petelinec, Težka voda in Klampfer. Slemenena med dolinami se po višini in morfološki zasnovi skladajo s sorodnimi, bolj zakraselimi zahodnimi planotami, ki so z najvišjih slemen zahodnih Gorjancev stopnjasto nagnjene h Krki.

V ožjem zaledju Krupe sega vrtačasti kraški ravnik v višine med 170 in 220 m. Proti severovzhodu se neotektonsko in kraško bolj razčlenjeno površje položno dviga do suhorske rebri. Najvišje vzpetine v tem predelu segajo v višine med 200 in 500m, relativno pa segajo le 20 do 120 m nad uravnano površje. Prehod iz Bele krajine v Žumberak je morfološko izredno razgiban, prevladuje fluviokraški relief. Zaradi menjave propustnih in nepropustnih kamnin je delno razvita površinska rečna mreža, ki pa je zaradi kraške podlage razčlenjena na manjše ponikalnice. Nad požiralniki se nadaljujejo viseče suhe doline, ki nakazujejo nekdanj sklenjeneno površinsko hidrografske omrežje.

Na prehodu Bele krajine v Žumberak visi površje z osrednjega najvišjega dela h Kolpi. Vzhodno od suhorske rebri je nad Ravnacami in Doljani širok hrbet Lipovca (818) in Kule (887). Med njima je izrazita prečno dinarska podolžna uvala Popova rustinja. V njenem vzhodnem sosedstvu je slepa dolina Ponikev z manjšima ponikalnicama. Južno od Popove rustinje je široka uvala Rakitnik. V hrbtu severno od Popove rustinje so predoli med položnimi kopami usmerjeni proti severu in obvisi nad iglenško in gabsko rebrijo. Na južni strani pa so od široke uvale Rakitnik suhe doline in grape usmerjene h Kolpi. V njih so ponikalnice z občasnimi tokovi v porečju Sušice in v zaledju Metliškega Obrha.

Južno od Kule se vleče med Ravnacami in Rajakoviči razčlenjena reber. V dobrih 150 m nižji polici je pod Doljani izoblikovana široka suha dolina, ki pri Brezovici obvisi nad dolino Sušice. Druga podobna široka dolina je ohranjena v obliki obvisela kraške planote med Bojanjo vasjo, Radovico in Gabrovcem. V



njenem povirju je ohranjena ponikalnica Priseljskega potoka. Severno od Bojanje vasi je ožja suha dolina v podaljšku ponikalnice Jamnik, ki med Dragoševci in Lješčami obvisi nad Sušico. Severno od Metlike se suha dolina nadaljuje nad Špitalsko drago in sega do Berčic. Zarezana je v položno reber na meji z najnižjo polico ob Kolpi. S te rebri je od Slamne vasi k Rosalnicam usmerjena podobna viseča suha dolina kot sosednja Špitalska draga. Morfološko in hidrografske je svet med Metliko, Suhorjem, Rajakoviči, Radovico in Rosalnicami zares svojevrsten in le nekoliko podoben onemu na severni strani Gorjancev med Težko vodo in Gabrjami.

## STRUKTURNA RAZPOREDITEV VRTAČ V KRAŠKEM ZALEDJU KRUPÉ

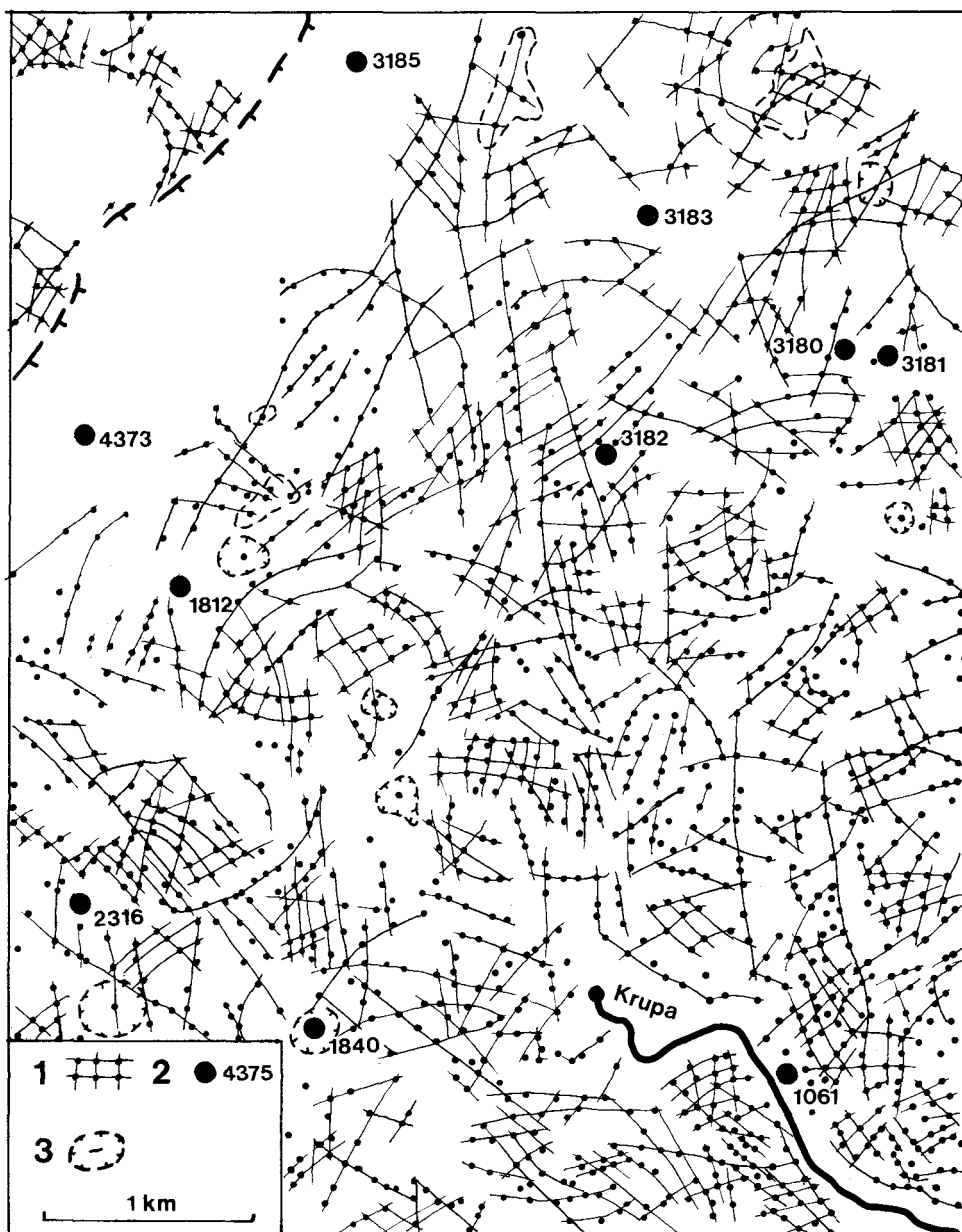
V kraškem reliefu prihaja do veljave struktura kamninske podlage. Njena prepustnost se kaže v razporeditvi nizov vrtač, kraških dolov in brazd. Te so večinoma pogojene z odprtimi razpoklinskimi sistemi ob prelomih, kjer je možno izdatnejše odnašanje drobirja in raztopljene kamnine v podzemlje. Ker v obravnavanem vodonosniku geološko niso podrobno kartirani razpoklinski in prelomni sistemi, smo skušali bolj zakrasele in prevodnejše cone opredeliti z razporeditvijo vrtač in kraških brazd.

Vrtače so na prvi pogled brez reda razporejene. Njihovo strukturno pogojevanost je sicer mogoče spoznati s podrobnim geološkim kartiranjem (ČAR, 1982). Drobno strukturno kartiranje pa je zahtevno in za tako obsežno območje bi izurjeni geologi potrebovali precej časa. Strukturno podlago smo skušali spoznati nekoliko drugače. Po topografski karti v merilu 1:25.000 smo vrtače in druge kraške globeli povezali v nize in dobili zanimivo mrežo, ki vsaj delno nakazuje razpoklinske strukture. Dobljeno mrežo smo smiselno uredili in uskladili z osnovnimi potezami geološke in tektonske zgradbe po osnovni geološki karti, na listih Novo mesto in Črnomelj. Nakazana je zanimiva struktura zakrasele podlage, ki morda vsaj v določeni meri odseva tudi pglavitne podzemlske vodne poti (slika 4).

Vrtače so zgoščene po posameh predelih in nizih, vmes so večji ali manjši predeli brez vidnih znakov točkovne vertikalne drenaže. V teh območjih je možen delen površinski odtok, ali pa deževnica penika razpršeno skozi kamnino in ne oblikuje izrazitejših navpičnih odtočnih poti.

Vrtače so najbolj zgoščene v nizki Beli krajini med Lahinjo, Semičem in Jugorjem. Nekaj gostejših vrtačastih polj je na kraških ravninah v zaledju Obrha severno od Rosalnic, vzhodno od Gabrovca, južno od Doljanov in med Ponikvami v Gorjancih, Popovo rustinjo in Rakitnikom. Na Radohi v zahodnem delu Gorjancev in v zaledju Težke vode so manjša polja gostejših vrtač neenakomerno razporejena po ravninah med vzpetinami.

V razporedu vrtač na nizkem belokrajskem ravniku se kažejo obročaste, polkrožne in premočrtne razpoklinske strukture. Značilna obročasta struktura je v zahodne delu ravnika južno od Kota pri Semiču. V njeni sredini je plitva uvala, premer obroča pa znaša 2 do 3 km. V njem so poleg krožnih tudi premočrtni nizi vrtač v smeri sever jug. Med Vapčo vasjo in Vinjim Vrhom zahodno od Krupe so vrtače razporejene v dolgih vzporednih nizih dinarske smeri in krajših nizih, ki se naslanjajo na daljše pod kotom manjšim od 90°. Manjša polkrožna struktura se kaže jugovzhodno od Semiča, v njeni sredini je plitva uvala. V bližnji okolici so poleg obročastih tudi vzporedni nizi vrtač v



Slika 4. Strukturni razpored vrtač v ožjem zaledju Krupe

1) vrtača in domnevna strukturnica, 2) jama ali brezno s kat. št., 3) udorna vrtača.

Fig. 4. Structural dolines distribution in narrow Krupa background

1) doline and supposed structural line 2) cave or pothole with cad.no. 3) collapsed doline.

smeri sever jug. Takšna razporeditev sega nekako do vzdolžne brazde, ki jo spremljamo od Moverne vasi proti severu med Črešnjevcem in Omoto skoraj do vznožja Brezove rebri. V podolju ob vznožju Semiške gore so vrtače nanizane v prečno dinarski ali balatonski smeri.

Med Moverno vasjo in Dobraviciami je sestavljena obročasta struktura s pozitivnim jedrom v krogu s premerom do 5 km. S severne strani jo omejuje lečasto povita brazda, ki poteka v dinarski smeri od Podrebri mimo Črešnjevca in čez Dobravice do Lahinje. Severno od Primostka, Krvavčjega Vrha in Dragomlje vasi in blizu Škemljeveca so štiri obročaste strukture s premerom 2 do 3 km. V njih so tudi vzporedni nizi vrtač dinarske, prečne in severno južne smeri. Razdalje med nizi so reda velikosti 50 do 100 m. Vmesna polja brez vrtač so lečastih oblik širine 500 do 1500 m. Hidrogeološko funkcijo obročastih in vzporednih struktur bi bilo treba preveriti z vrtanjem in črpanjem. Obstaja namreč teoretična in praktična možnost, da so nizi skladni z bolj prevodnimi razpoklinskimi conami, v katerih lahko pričakujemo izdatnejše odseke kraškega vodonosnika.

Na območju zahodnih Gorjancev med Semičem, Rožnim Dolom, Uršnimi seli in Težko vodo so manjša polja vrtač po večini med kopastimi vzpetinami. V teh poljih med vrhovi prevladujejo vzporedni dinarski in prečni nizi, krožnih je manj, pogostnejši so lečasti in ločni ob večjih dinarsko usmerjenih brazdah. Te so vezane na znane dinarske zmične prelome. Prav zmiki so odločilni za nastanek lečastih in ločnih razpoklinskih struktur. Predpostavljamo, da so poglobitve kraške drenažne cone zasnovane na teh strukturah. Tudi tu bi kazalo preskusiti izdatnost posameznih odsekov kraškega vodonosnika.

Za linearni podzemeljski odtok so verjetno primernejše daljše vzporedne strukture, medtem ko so obročaste strukture ugodnejše za koncentriran vertikalni odtok. Pri lociranju raziskovalnih vrtin bi kazalo te predpostavke upoštevati, ker bi v primeru pozitivnih izsledkov bila nakazana metoda izrednega pomena.

## SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI ZALEDJA KRUPJE

V obravnavanem zaledju Krupje, Obrha in Težke vode je znanih skupno 56 speleoloških objektov. Po tipih jih ločimo na jame s stalnim izvirom, brezna s stalnim ponorom, brezna z občasnim ponorom, jame s stalno vodo, jame z občasnim tokom, brezna s stalnim tokom, spodmole in kevdrce, vodoravne suhe jame, jame z breznom in poševne jame, brezna, poševna in stopnjasta brezna. Nekatere od obravnavanih jam omenjena KRANJC (1990) v pregledu dolenskega kraškega sveta, osnovni podatki pa so povzeti po Kastastru jam Slovenije v arhivu Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni.

Edina izvirna jama je Grota na Kremenjku (kat.št.5567) v južnem robu večje dvojne vrtače Dotočine južno od Vinje vasi. Po legi (nadm. v. 550 m) visoko v severnem pobočju Velikega vrha (727) sodeč gre le za lokalni izvir v manjprepustnih dolomitnih plasteh. Občasen izvirek in stalna voda v jami sta povsem lokalnega pomena (LADIŠIČ, 1984).

V ponorno brezno z imenom Pečenevka (št.851) izginja potok Jamnik ali Mlinšca v zaledju Metliškega Obrha (BADJURA, 1941; HUDOKLIN, 1992). Nekaj višje ob Jamniku je pri podrtem mlinu požiralnik Mlinška jama, ki je občasno zalita in po nalivih ne zmore vse vode, zato ta oteka naprej v Pečenevko. Po-

TABELA 1: Delež posameznih tipov jam v zaledju Krupe, Težke vode in Metliškega Obrha

Tip jame	štev.	%
1.1 jama, stalni izvir	1	1.8
2.5 brezno, stalni ponor	1	1.8
2.6 brezno, občasni ponor	2	3.6
4.2 jama s stalno vodo	1	1.8
4.3 jama z občasnim tokom	1	1.8
4.4 brezno z občasnim tokom	1	1.8
5.1 spodmol, kevderc	6	10.7
5.2 vodoravna jama	3	5.3
5.3 poševna jama	4	7.1
5.5 brezno	20	35,7
5.6 stopnjasto, poševno brezno	16	28.6
skupaj	56	100.0

dobno funkcijo ima požiralnik pri Leščah (št.864) v strugi Sušice pod Brezovico. V obravnavanem območju ni zabeleženih drugih ponornih jam in brezen.

Med jame s stalnim ali občasnim tokom sta uvrščeni Lebica (št.1812) pri Semiču in Vodenica (št.1840) blizu Lipovca pri Semiču. V obeh jamah se zadržuje ujeta voda v manjših kotanjah. Vhod v Lebico je ob robu plitve vrtače in do vodne kotanje vodi 8 stopnic, prostor nad vodo je bil menda obzidan še za časa Avstrije, v njej so domačini zajemali vodo, dokler ni bil zgrajen semiški vodovod (HROVAT, 1961). V Vodenici se pojavi voda le po dežju nato pa izgine. Gre le za lokalno ujeto vodo, ki ni neposredno v zvezi s podtalnico v zaledju Krupe. Obe lokaciji sta primerni za preskus podzemeljske povezave s Krupo, sledenje pa bi morali izvesti z zalivanjem. Učinkovito bi bilo le v primeru, da bi posebej natančno merili delež povrnjenega sledila in čas celotnega spiranja, kar bi prispevalo k razumevanju onesnaževanja ožjega zaledja Krupe.

Pri Dobravicah je udorno brezno (št.5426) obzidano v zajetje z ročno črpalko, s katero so nekdanj zajemali kraško vodo za oskrbo ljudi in živine. Obzidani vodnjak je globok 11 m in v vodi živi proteus, ki dokazuje stalno kraško podtalnico. Majhen podzemeljski tok naj bi bil usmerjen v Markuč zdenec, ki je oddaljen okrog 850 m in se izliva v Lahinjo pri mlinu v Krivoglavicah. Tam je manjša Jama pri mlinu (št. 2694), verjetno del nekdanjega izvirnega rova. V bližini tega izvira je bruhalnik imenovan Pri rupi. Po suhi strugi v zaledju omenjenih izvirov sklepa KLEPEC(1983), da se je tu nekdanj Sušica izlivala v Lahinjo. Izvir pri Krivoglavicah bo potrebno opazovati ob morebitnem ponovnem sledenju v zaledju Krupe in Metliškega Obrha.

Manjši spodmoli v belokranjskem ravniku so nastali ob dolomitnih vložkih med apnenci, kjer so se nekdanj izcejale lokalne vode. Takšna je Kambičkina jama (št. 3181) severno od Štrekljevca. Z nekdanjim izviranjem so verjetno nastale Jama divjega moža (št.1225), Judovska jama (št.1061) ob Krupi pri Moverni vasi, Metliška jama (št.1275) ob Obrhu in Lisičja luknja (št.4373) ob Krki. Okrog Štrekljevca je znanih tudi več manjših brezen (št.3180, globina -13m; št.3182,-10; št.3183,-12; št.3184,-28; št.3185,-42.5).

Na Radohi med Gornjimi Lazi in Podgradom je znanih 20 brezen. Dve brezni pod Gornjimi Lazi (št.5672,-17 in 5673,-22), dve brezni v Tolanu (št.4769, in

4670), šest brezen in ena jama blizu doma na Radohi (št.6162,-16, in št.6163,-16m, št.6164,-15, št.6165,-15, št.832,-32, št.4880,-12, št.1357,-54, dolž.150m). Tri brezna so vzhodno od Peščenka, Rihtarca (št.4994,-20m) v strmi rebri nad Malinsko drago ter Jelušca (št. 4491,-36) in Škrbec (št. 4998,-13m) na Velikem Škrbcu. V dolu med Škrbcem in Velikim vrhom je Brezno pri treh lužah (št. 5678,-25). V širokem vrtačastem dolu južno nad Pristavo sta Krojačovka (št.5597,-40) in Predalnica (št. 5598,-8). Zahodno od Pristave je Brezno na Klemenčičevi njivi (št. 5563,-11,5m), ki se je odprlo spomladi 1984. V širšem zaledju Težke vode je znano Brezno pod Mehovskim hribom (št.565,-30) in Badovinčeva jama v dolu Lavtrce (št.5568,-18,5).

Vsi navedeni speleološki objekti v območju Radohe so tipična korozijska brezna, nastala so v pomembnejših razpoklinskih conah, ki jih nakazujejo tudi nizi vrtač in kraških brazd. V nobenem od teh brezen doslej jamarji niso prišli globlje v podzemlje, saj so brezna globoka le od 10 do 50m, vhodi pa v višinah med 300 in 500 m. Gladina kraške talne vode je globoko spodaj, ob nizkih vodah med 140 in 190 m nadmorske višine, ob visokih vodah pa najbrž ne bistveno više, saj so občasni izviri Topliške Sušice približno v isti višini kot stalni izviri Težke vode, izviri ob Petelincu pa so tudi v višini med 190 in 200 m.

Nekaj korozijskih brezen je v okolici Suhorja, vendar še niso raziskana in izmerjena. V jurskem apnencu pri Bojanji vasi je pet brezen: Tončikova jama (št.852,-35); Kipova jama (št.853,-35), Kadiševa jama (št.854,-50), Šulnovka (št.855,-30) in Petričev rol (št.856,-20). Po globini tudi te ne dosežjo kraške podtalnice, možno pa jih je uporabiti za sledenje z zalivanjem v zaledju Metliškega Obrha. Zaradi bližine vasi je v njih precej odpadkov različne vsebine, ki je brez velikega truda ni mogoče preveriti.

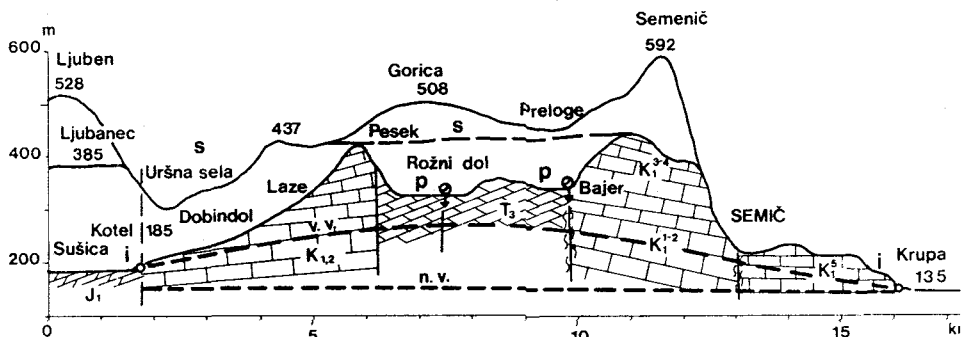
Med najbolj onesnažene belokrajnske jame spada Malikovec (št.2316,-35) pri Semiču in blizu izvira Krupe. Odpadki v Malikovcu neposredno ogrožajo Krupe. Razen v Malikovcu pa je okoli Semiča še cela vrsta znanih in prikritih odlagališč, ki bi jih morali čimprej sanirati. Izvir Krupe je namreč tako pomemben po svoji izdatnosti in položaju, da je potrebno vložiti vse za obnovo njegove kakovosti. Podzemeljsko povezavo Malikovca, Vodenice in Lebice s Krupe bo treba posebej preučiti, da bi lahko pravilno vrednotili tudi druge depozite odpadkov in odvajanje odplak iz semiške čistilne naprave.

## FIZIKALNO KEMIJSKE LASTNOSTI VODA

### Ponikalnici v Rožnem Dolu in Bajerju ob sledenju 1990 leta

Rožnodolski potok ima v primerjavi z Bajerjem (Slika 5) bolj senčno strugo, vendar nekoliko višje temperature. Prvi ima temperaturo med 11.5 in 19.6, drugi le med 10.3 in 11.2°C. Obratno velja za specifično električno prevodnost (SEP), ki se giblje v Rožnodolskem potoku med 402 in 428, v Bajerju pa med 45° in 513  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Skladno s SEP so tudi karbonatne in celotkupne trdote višje v Bajerju (med 244 in 278  $\text{mgCaCO}_3/\text{l}$ ) kot v Rožnem dolu (med 234 in 238  $\text{mg/l}$ ). V obeh vodah, ki se stekata iz triasnega dolomita je razmeroma visok delež magnezija, saj je v obeh primerih ta delež skoraj enak kalcijevemu. Rožnodolski potok vsebuje med 117 in 122  $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$  kalcija, Bajer pa med 134 in 155  $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ . V Bajerju je tudi nekaj več nitratov (od 3-7,6  $\text{mg/l}$ ) kot v

# SUŠICA - ROŽNI DOL - KRUPA Geološki presek po OGK - P. Habič-1991



Slika 5. Morfološki presek Sušica - Rožni Dol - Krupa

T - triasni dolomit, K - kredni apnenec, v.v. - visoka voda v krasu, n.v. - nizka voda v krasu, p - požiralnik, i - kraški izvir, s - suha dolina.

Fig. 5. Morphological cross-section Sušica - Rožni Dol - Krupa

T - Triassic dolomite, K - Cretaceous dolomite, v.v. - high water in karst, n.v. - low water in karst, p - swallow hole, i - karst spring, s - dry valley

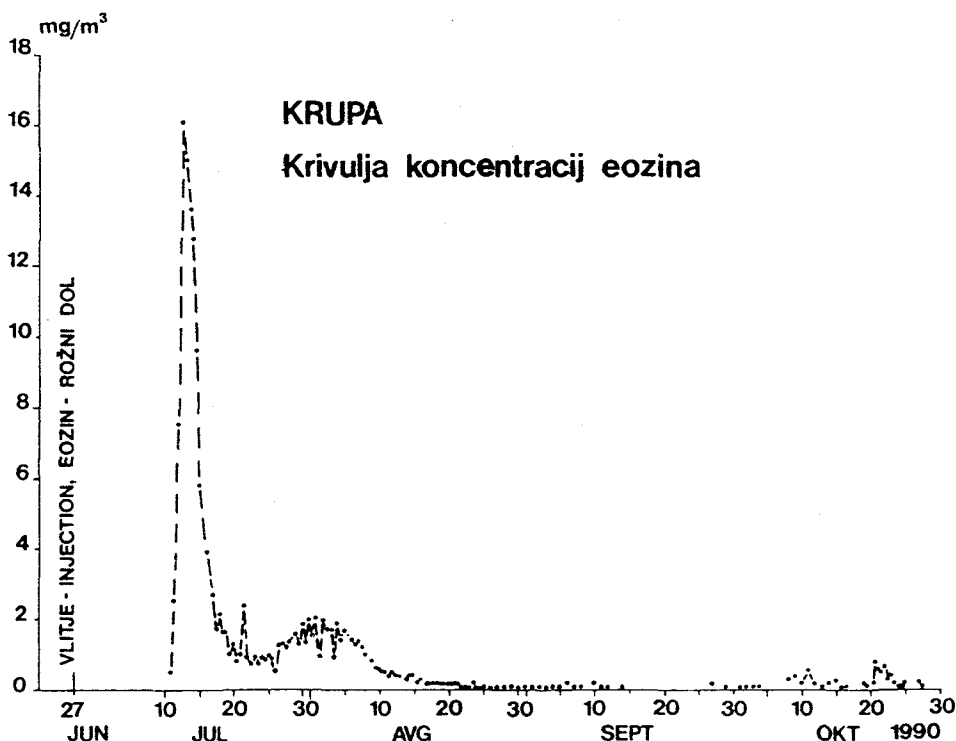
Rožnodolskem potoku (med 2.6 in 4.8 mg/l). Občasno povišanje vsebnosti o-fosfatov (do 0,16mg/l) in sulfatov (do 7mg/l) nakazuje onesnaženost teh površinskih voda.

## Lastnosti izvirov ob sledenju 1990

Kemična sestava Sušice se precej razlikuje od omenjenih ponikalnic. Tako smo po količini in sestavi sklepali, da vode iz Rožnega Dola ne napajajo nizke Sušice. Temperature Sušice so višje (med 13.3 in 20 °C). Ker so merjene precej pod izvirom in ni izključeno površinsko segrevanje. Pač pa so vrednosti SEP (med 317 in 417  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ) precej nižje, podobno kot trdote (karbonatov je med 197 in 219 mg/l), razmeroma majhen je tudi delež magnezija (med 40 in 60 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ), zato je razmerje Ca/Mg višje (od 3 do 4,2). Po onesnaženosti so si vode bolj podobne.

Izvir Vejer ni posebno izdaten, zato temperature, merjene v površinski strugi, nihajo med 9.6 in 17.9°C, SEP in trdote so sorazmerno visoke, manjši pa je delež magnezija, zato je razmerje Ca/Mg visoko (5.6 - 5.8). V izviru Pod Jamo so temperature bolj izravnane, med 10.5 in 10.8°C. Trdote so podobne kot v Vejerju, večji pa je delež magnezija, zato je razmerje Ca/Mg okrog 2.

Izvir Težke vode ima precej enakomerno temperaturo med 9.5 in 10.6°C, trdote in specifična prevodnost le malo nihajo, manjši pa je tudi delež magnezija, razmerje Ca/Mg niha okrog 4.3. Po kemijski sestavi je izvir Težke vode zelo podoben Krupi, ki ima nekaj višje temperature, podobne trdote in razmerje Ca/Mg med 2.9 in 3.7.



Slika 6. Krivulja koncentracij eozina v Krupi po barvanju v Rožnem Dolu, 27.6.1990

Fig. 6. Eosin concentration curve in Krupa after tracing in Rožni Dol, 27 June 1990

Temperature izvira Krupe so bile skozi celo poletje med 11.0 in 11.4°C. Glede na počasno in globoko kraško pretakanje ne moremo pričakovati termičnih vplivov majhnih ponikalnic na Krupo. Velike razlike v pretokih, saj se pojavi v izviru stokrat več vode, kot jo ponikne v Rožnem Dolu z Barjerjem vred, prekrivajo neposredne vplive teh ponikalnic. SEP in trdote ter druge mineralne primesi v Krupi so zato bolj odvisne od njenega širšega apneniškega zaledja, kar se kaže tudi v razmerju Ca/Mg. Povišana vsebnost nitratov, kloridov, o-fosfatov in sulfatov pa nakazuje splošno onesnaženost zaledja Krupe.

Fizikalno kemijskih lastnosti ponikalnic in izvirov ob sledenju leta 1991

Ponikalnica Reka na Ponikvah (slika 8) je imela ob baravanju 10,7°C. Težka voda je bila za 1°C hladnejša, Krupa pa za približno toliko toplejša (11.6°C), Metliški Obrh je bil le za tri desetinke stopinje toplejši od Ponikev. Ta primerjava seveda ne odraža temperaturnih razmer čez leto, saj se površinske vode bistveno bolj segrevajo in ohlajajo kot izvirne vode. Temperaturni podatki za Težko vodo, Krupo in Metliški Obrh za čas med oktobrom in decembrom 1991 naka-

zujejo postopno ohlajanje podzemeljskih voda. Izvir Težke vode se je ohladil za 0.4, Metliški Obrh za 0.6 in Krupa za 1°C.

TABELA 2. Rezultati meritev voda ob sledenju 1990 leta

Ime izv.	datum	Q l/s	T °C	SEP uScm <sup>-1</sup>	Karb.	Tot. mg/l	Ca	Mg	Ca/Mg
Ponikalnica – Sinking stream									
Rožni D.	15. 5.90	5	11.5	402	220	237	121	116	1.0
	26. 6.90	3	19.6	412	225	235	117	118	1.0
	25. 7.90	1	13.2	408					
	15.10.90	1	12.2	428	231	238	122	116	1.1
Bajer	15. 5.90	2	10.3	513	276	300	155	145	1.1
	26. 6.90	2	10.5	506	279	297	153	144	1.1
	13. 9.90		10.5	511					
	15.10.90	0.1	11.2	450	244	257	134	123	1.1
Izvir – Spring									
Težka v.	26. 6.90		9.7	405	205	219	178	41	4.3
	9. 8.90		9.7	390					
	13. 9.90		10.6	406					
	15.11.91		9.5	400	207	220	171	49	3.5
Pod Jamo	9. 8.90	2	10.6	544					
	13. 9.90		10.5	574					
	15.10.90		10.8	571	281	306	203	103	2.0
Vejer	26. 6.90	0.2	14.6	531	261	286	242.5	43.5	5.6
	7. 8.90	0.5	17.9	578					
	15.10.90	2	9.6	633	285	312	266	46	5.8
T.Sušica	15. 5.90	5	15.2	402	207	223	179	44	4.1
	26. 6.90		20.0	377	197	210	170	40	4.2
	25. 7.90	0.5	19.7	317					
	15.10.90		13.3	417	219	233	174	59	2.9
Krupa	15. 5.90		11.2	408	206	229	170	59	2.9
	26. 6.90		11.4	410	206	225	177	48	3.7
	25. 7.90		11.3	417					
	23. 8.90		11.2	424					
	13. 9.90		11.3	420					
	11.10.90		11.1	420					
	15.10.90		11.0	421	215	233	182	51	5.6



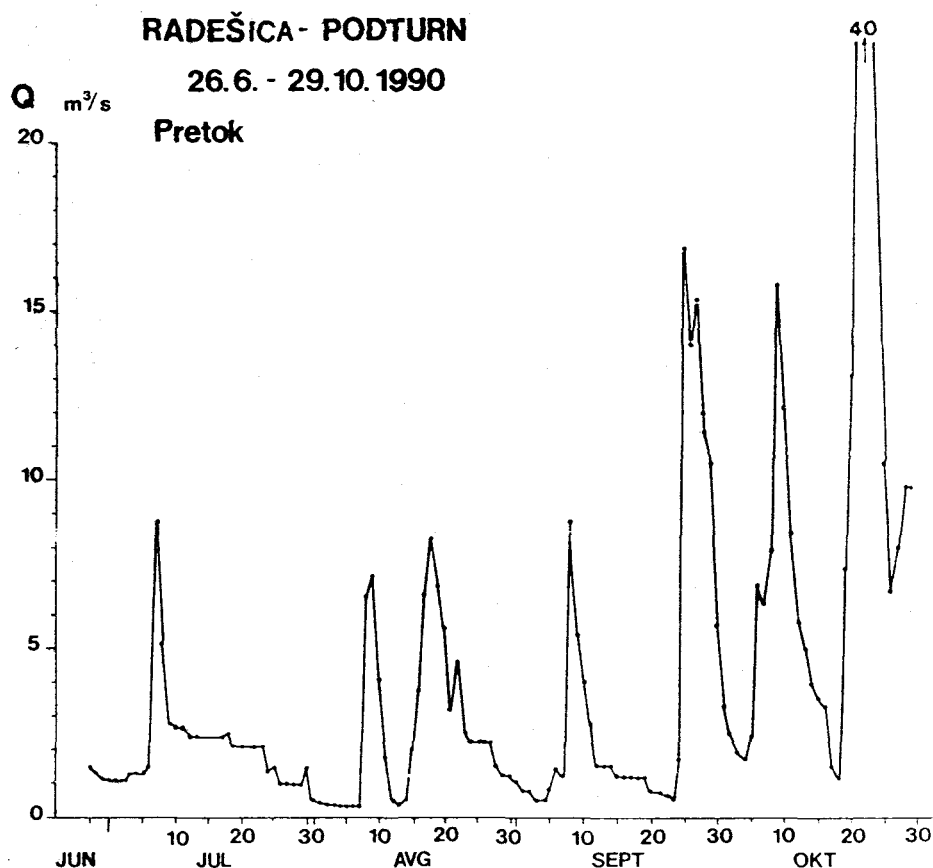
TABELA 3. Pregled vsebnosti nitratov, kloridov, o-fosfatov in sulfatov v ponikalnicah in izviri ob sledenju 1990

Ponor/izvir	datum	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	o-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> v mg/l
Rožni Dol	15. 5.90	2.6	1	0.01	4.0
	26. 6.90	4.8	2	0.16	4.5
	15.10.90	4.4	2	0.06	4.0
Bajer	15. 5.90	6.6	2	0.01	3.0
	26. 6.90	7.6	3	0.04	2.5
	15.10.90	3.0	2	0.03	7.0
Težka voda l.	26. 6.90	4.8	2	0.08	7.0
Težka voda d.	26. 6.90	5.3	3	0.12	7.0
Pod Jamo	15.10.90	17.4	2	0.23	11.0
Vejer	26. 6.90	19.7	7	0.40	10.0
	15.10.90	21.9	1	0.47	11.5
T.Sušica	15. 5.90	3.1	3	0.02	8.0
	26. 6.90	3.6	3	0.05	8.0
	15.10.90	3.9	8	0.01	9.0
Krupa	15. 5.90	3.5	3	0.01	10.0
	26. 6.90	6.5	3	0.09	10.8
	15.10.90	6.8	7	0.03	9.0

TABELA 4: Temperatura vode v izviri od oktobra do decembra 1991

Datum merjenja	Težka voda	Krupa	Metl.Obrh
15.10. 1991	9.7	11.6	11.0
23.10. 1991	9.6	11.3	11.0
15.11. 1991	9.5	11.1	11.0
21.11. 1991	9.4	10.8	10.6
6.12. 1991	9.3	10.6	10.4
1. 9. 1992	10.1	11.6	11.6

Po temperaturah se izviri jasno ločijo, kar je skladno s položajem in naravo njihovega zaledja.



Slika 7. Pretoki Radešice v Podturnu med 26.6. in 29.10.1990.

Fig. 7. Radešica in Podturn discharges from 26 June to 29 October 1990

#### Specifična električna prevodnost

Pri Težki vodi je prevodnost od oktobra do decembra enakomerno rastle in sicer od 388 do 406  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . V Krupi je prevodnost vode enakomerno upada od 429 na 415  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . V Metliškem Obrhu je najprej upadla od 453 na 441, nato pa narasla na 450  $\mu\text{Scm}^{-1}$ .

Po specifični prevodnosti sklepamo, da mineralizacija izvirov Težke vode v jeseni narašča zaradi daljšega zadrževanja vode v podzemlju. Pri Krupi, ki ima večjo prevodnost in skladno s tem tudi mineralizacijo, je upadanje prevodnosti verjetno pogojeno z manjšim deležem dolomitnih voda, kar pa bi potrdilo vzporedno spremljanje razmerja Ca/Mg. V Metliškem Obrhu bi lahko zmanjšanje prevodnosti v začetnem delu pojasnili podobno kot pri Krupi, naraščanje v drugem delu pa podobno kot pri Težki vodi. V prvem primeru gre za zmanjševanje deleža dolomitnih voda, v drugem pa za daljše zastajanje vode v podzemlju.

TABELA 5: Specifična električna prevodnost izvirov v jeseni 1991 v  $\mu\text{Scm}^{-1}$ 

Datum merjenja	Težka voda	Krupa	Metiški Obrh
15.10. 1991	388	429	453
23.10. 1991	392	425	450
15.11. 1991	400	423	441
21.11. 1991	402	420	445
6.12. 1991	406	415	450
1. 9. 1992	396	420	450

### Karbonatna in celokupna trdota

Podobno kot prevodnost se spreminjajo tudi karbonatne in celokupne trdote. Najnižje trdote so zabeležene pri Težki vodi, nekaj višje pri Krupi, Metliški Obrh pa ima najvišje trdote. Pri Težki vodi so v jeseni 1991 trdote enakomerno naraščale, podobno kot smo zabeležili pri spec.el.prevodnosti. V Krupi in Metliškem Obrhu so karbonatne trdote sprva upadale, nato rahlo naraščale, kar pa bi bilo možno pojasniti le z daljšim opazovanjem in primerjanjem.

TABELA 6: Primerjava karbonatne in celokupne trdote

Datum merjenja	Težka voda		Krupa		Metliški Obrh	
mg/l	karb.	cel.	karb.	cel.	karb.	cel.
15.10. 1991	205	214	220	233	231	247
23.10. 1991	206	215	216	225	225	233
15.11. 1991	207	220	214	229	220	231
21.11. 1991	210	222	215	226	222	232
6.11. 1991	212	223	216	228	224	237
1. 9. 1992*	212	217	220	230	216	221

\*) vzorci so bili vzeti po dolgem sušnem obdobju

### Primerjava kalcijeve in magnezijeve trdote

Delež magnezija je največji v Krupi, kjer se razmerje med kalcijem in magnezijem giblje od 2.3 do 3.7. Še bolj stalno je razmerje v Težki vodi, kjer se giblje med 2.9 in 3.6. Magnezijeve trdote znašajo v Krupi od 0.96 do 1.40 mekv/l, v Težki vodi med 0.97 in 1.15. Razlike so majhne in se skladajo z hidrogeološkimi značilnostmi zaledja. Metliški Obrh ima zelo majhen delež magnezija, saj se giblje njegova vsebnost med 0.12 in 0.41 mekv/l, razmerje pa je zaradi višje kalcijeve trdote visoko in se giblje med 10.8 in 36. Pri Krupi in Metliškem Obrhu so magnezijeve trdote v jeseni 1991 upadale, razmerje Ca/Mg pa je naraščalo, kar se sklada z že omenjenimi dogajanji v zaledju. Trša voda iz apnenčevega zaledja nakazuje počasnejše pretakanje in daljše zastajanje v podzemlju.

TABELA 7: Kalcijeve in magnezijeve trdote

Datum merjenja	Težka voda			Krupa			Metliški Obrh			
	mekv/l	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca	Mg	Ca/Mg
15.10. 1991	3.21	1.07	3	3.27	1.40	2.33	4.44	0.41	10.8	
23.10. 1991	3.30	1.00	3.3	3.32	1.18	2.80	4.35	0.35	12.4	
15.11. 1991	3.41	1.0	3.4	3.51	1.08	3.15	4.29	0.30	14.3	
21.11. 1991	3.40	1.15	2.9	3.30	1.22	2.70	4.35	0.30	14.5	
6.12. 1991	3.50	0.97	3.6	3.60	0.96	3.70	4.47	0.27	16.5	
1. 9. 1992	3.56	0.79	4.5	3.34	1.26	2.70	4.30	0.12	36	

## Primerajva kloridov, nitratov, fosfatov in sulfatov

Količine kloridov so v vseh treh izviri približno enake in se gibljejo med 3 in 8 mg/l v Težki vodi in med 3 in 4 mg/l v Metliškem Obrhu in Krupi. Koncentracija nitratov je v jeseni naraščala zlasti v Težki vodi in Metliškem Obrhu. Največji porast nitratov je zabeležen v Težki vodi od oktobra do srede novembra in sicer od 0.1 na 5.7 mg/l, nato pa je koncentracija padla na 4.7 mg/l. V Krupi so nitrati v začetku narastli od 3.7 na 5.8, nato pa upadli na 4.4 mg/l. V Metliškem Obrhu je koncentracija nitratov ves čas naraščala in sicer od 4.1 na 9.6 mg/l. Naraščanje nitratov je povezano s spiranjem iz prsti in je očitno posledica gnojenja. To je občutnejše v zaledju Težke vode in Metliškega Obrha, manj pa v zaledju Krupe. O pretiranem gnojenju v zaledju Obrha poroča tudi NOVAK(1989).

TABELA 8: Primerjava kloridov, nitratov, o-fosfatov in sulfatov

Datum merjenja mg/l	Težka voda				Krupa				Metliški Obrh			
	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>
15.10.1991	3	0.1	0.09	5	3	3.7	0.12	8	3	4.1	0.09	6
23.10.1991	3	0.8	0.09	5	3	4.2	0.14	8	3	5.1	0.09	7
15.11.1991	4	5.7	0.09	5	3	5.8	0.09	7	4	7.1	0.08	8
21.11.1991	5	5.0	0.08	6	4	4.8	0.08	7	4	8.5	0.09	10
6.12.1991	4	4.7	0.07	8	3	4.4	0.05	10	4	9.6	0.11	11
1. 9.1992	2	5.5	0.08	8	2	5.8	0.11	9	3	7.5	0.09	8

Nitrati, fosfati in sulfati v kraških vodah so kar zanesljivi indikatorji onesnaževanja zaledja. V Težki vodi je koncentracija fosfatov nekaj večja kot v Krupi in Obrhu. Morda je to povezano z večjim deležem komunalnih odpadkov v zaledju Težke vode. Nasprotno s tem pa je delež sulfatov v Težki vodi nekaj nižji od onega v Krupi in Obrhu. Tudi te razlike izhajajo iz različnih posegov človeka v zaledje izvirov. Pri Krupi in Metliki povezujemo večji delež sulfatov z večjim deležem vinogradov, kjer se uporabljajo škropiva na sulfatni podlagi.

## Primerjava Ušivca in Metličice ter Ponikev

Ušivec je manjši studenec pri Dacarjih blizu Metlike, ki se izliva v Obrh. Ob izviru je zgrajen vodnjak za ročno zajemanje vode in pranje perila. Kemijska sestava kaže precejšnjo onesnaženost vode. Nizko kraško zaledje je naseljeno in iz njega odtekajo odplake neposredno v podzemlje. Visoke trdote in majhen delež magnezija dokazuje počasno izcejanje in daljše zadrževanje vode v podzemlju.

Metličica izvira v izrazitem zatrepu pri Rosalnicah. Morfološka oblika kaže, da je to star izvir, ki odvaja vodo iz široke nizke police ob Kolpi. Trdote vode so nekoliko nižje kot v Ušivcu, razmerje Ca/Mg je večje, onesnaženost pa podobna. NOVAK (1989) omenja povezavo Sušice in Priselskega potoka z Metličico.

TABELA 9: Kemijske lastnosti Ušivca, Metličice in Ponikev (T°C, Scm<sup>-1</sup>, Mg/l).

15.10.1991	T	uS	K	C	Ca	Mg	Ca/Mg	Cl	No <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>
Ušivec	11.9	681	339	355	339	24	14.1	11	11.5	0.27	8	5.7	54%
Metlič.	11.4	537	261	281	272	9	30.2	8	14.4	0.15	11		
Ponikve	10.7	388	190	192	180	12	15	1	3.2	0.02	7	9.5	94%

Voda iz Ponikev na Gorjancih ima nižjo trdoto od omenjenih izvirov ob Kolpi, pa tudi nižjo od Težke vode, Krupe in Dobličice. Delež magnezija je podoben kot v Metliškem Obrhu, druge kemijske lastnosti nakazujejo razmeroma čisto vodo, kar se sklada tudi z naravnim nenaseljenim zaledjem.

## SLEDENJE V ROŽNEM DOLU IN BAJERJU LETA 1990

## Barvanje ponikalnice v Rožnem Dolu z eozinom

Voda ponikalnice v Rožnem Dolu izvira iz dolomitnih grap nad vasjo, ponika pa v rupah sredi naplavljenega dna obsežne kraške globeli. Na dan barvanja, 27. junija 1990, je ponikalo 5 l/s. V požiralnik smo vlili 11,8 kg raztopljene eozina, ki je v nekaj minutah ob 11 uri odtekel v podzemlje. Barvanje so izvedli mag. J. Kogovšek, dr. A. Kranjc, M. Kranjc, in S. Šebela.

## Sledenje požiralnika v Bajerju s fagi

Sledenje je izvedel Inštitut za biologijo (mag. M. BRICELJ in mag. G. KOSI). Dne 15. oktobra 1990 ob 12.50 sta vlila 18.800 ml bakteriofagne juhe bakteriofaga P22H5 s skupnim titrom  $5.8 \times 10^{15}$  v požiralnik Bajerja blizu črpališča za železnico. Injeciranje je bilo opravljeno v 30 sekundah, pretok je znašal 0.1 l/s. Salmonelni fag se je pojavil v 6 km oddaljeni Krupi z maksimalno koncentracijo 80 pfe/ml v jutranjem vzorcu 17.10.1990 po nepolnih 42 urah (Poročilo o opravljenem sledilnem poskusu s salmonelnim fagom P22H5, Rožni Dol- Krupa. Inštitut za biologijo univerze v Ljubljani. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa ZRC, Postojna). Sledilni val je potoval s hitrostjo 143 m/h ali okrog 4 cm/s. To je sorazmerno visoka hitrost povezana z izdatnim deževjem in visokim vodnim valom, ki se je pojavil dan po vlitju sledila.

### Sledovi eozina v Krupi

Eozin iz Rožnega Dola se je prvič pojavil v Krupi 11. julija ob 7 uri, ali po 15 dneh oziroma 355 urah. V poprejšnjih slepih vzorcih ni bilo sledu o eozinu. Barvni val je nato hitro rasel in dosegel po 391 urah od vlitja, dne 12.7. ob 19.00, koncentracijo  $16,1 \text{ mg/m}^3$ . Ta se je nato znižala in med 20.ter 25.7. je nihala med 0.5 in 2.4 ppb, med 26.7. in 10. 8. je sledil nižji, vendar bolj raztegnjen val z vrhom okrog 1. 8. s koncentracijo 2.0 ppb. Med 10.8. in 14.9. se je koncentracija zniževala od 0.6 do 0.1 ppb, od 15.9. do 26.9. je bila pod mejo določljivosti, od 27.9. do 19.10. je nihala med 0.1 in 0.6 ppb, med 20.10. in 27.10 pa med 0.1 in 0.8 ppb. V zadnjih zajetih vzorcih med 28.in 30.10 ni zabeleženih sledov eozina (sl.6).

Na 8 km zračne razdalje in 175 m višinske razlike med Rožnim Dolom in Krupo je eozin potoval s hitrostjo 22,5 m/h oziroma 0.6 cm/s. Izrazit vrh se je pojavil po 391 urah in njegova potovalna hitrost je znašala 20.5 m/h, ali 0.57 cm/s. Drugi val je dosegel vrh 1.8., to je po 35 dneh ali 840 urah in je potoval z navidezno hitrostjo 9 m/h, ali 0,25 cm/s. Če pa ga povežemo z deževnim valom, ki naj bi spral del zastajajočega eozina iz požiralnika, je potoval s podobno hitrostjo kot prvi.

Ker nimamo podatkov o pretokih Krupe v času sledenja, smo krivuljo koncentracij eozina v Krupi primerjali s hidrogramom dnevnih pretokov Radešice. Te je beležil naš opazovalec hkrati z zajemanjem vzorcev. Hidrogram Radešice lepo kaže vplive poletnega in jesenskega deževja na kraške vode Kočevskega Roga. Podobne padavinske in vodne razmere so vladale tudi v sosednjih zahodnih Gorjancih in vplivale na odtekanje eozina iz Rožnega Dola v Krupo. Dež je osmi dan po vlitju pospešil odtok eozina. Pretoki so bili v Radešici in verjetno tudi v Krupi najvišji 7. julija, prvi barvni val v Krupi pa se je pojavil 12. julija ali pet dni za vrhom vodnega vala.

Drugi barvni val eozina se je v Krupi pojavil v času nizkih pretokov med 30.7 in 6.8. Z naslednjim deževjem med 7.in 23.8. je prišlo do izdatnega razredčenja eozina, vendar je bil še vedno določljiv v Krupi. Ob zadnjem deževnem valu med 20. in 25.10. je koncentracija celo nekaj narasla, kar si lahko razložimo z izdatnejšim spiranjem podzemlja. Tako je tudi drugi val eozina v začetku avgusta verjetno povezan z izpiranjem ob dežju v začetku julija. Ta val je iz Rožnega Dola potoval dobrih 20 dni ali nekaj nad 500 ur s hitrostjo 16 m/h ali 0,44 cm/s. Podobne drugotne valove sledil smo ugotavljali tudi pri drugih poskusih (HABIČ, 1989; HABIČ et al. 1990), zato je takšna razlaga tudi za Krupo precej verjetna.

### Sledovi eozina v Sušici

V Sušici so zajemali vzorce redno trikrat dnevno od 27.6. do 28.7.1990. Samo v zadnjih dveh vzorcih z dne 27.7. ob 20.uri in 28.7. ob 20<sup>h</sup> je bila koncentracija eozina na meji določljivosti. Nato je Sušica presahnila. Ob naslednjem vodnem valu so bile koncentracije eozina nekaj višje. Tako v prvih dveh vzorcih 8.avgusta ob 8<sup>h</sup> in ob 20<sup>h</sup> 0.4 ppb in še naslednji dan 0.3 ppb, na kar je Sušica ponovno presahnila. V prvem vzorcu od 13.9. ni bilo sledi, pač pa se pojavijo sledi eozina na meji določljivosti ali malo nad njo 16.in 17. ter 28. septembra in ponovno 8.in 9.oktobra. Nadaljnje vzorce smo oddali v bakteriološko analizo, zato nimamo podatkov o morebitnem kasnejšem valu eozina v Sušici.

Glede na vodni režim Sušice in razpoložljive podatke velja ugotovitev, da se del visokih voda iz Rožnega Dola preliva razen v Krupo tudi v Sušico, ob nizkih pa odtekajo vode iz Rožnega Dola le v Krupo. Odtok proti Sušici je očitno pogojen z višino vodne gladine ob prelivnem robu pri Kotlu, ki odloča o bifurkaciji na območju Rožnega Dola med Krko in Kolpo. Ob višjih vodostajih se vode raztekajo na obe strani, ko pa gladina vode v podzemlju upade pod prelivni jez, odtekajo vode le še proti Krupi.

## SLEDENJE NA GORJANCIH IN V MALINSKI DRAGI LETA 1991

### Barvanje ponikalnice v Ponikvah na Gorjancih

Osrednji, najvišje dvignjeni del zahodnih Gorjancev sega v višine med 700 in 800 m. S planotastega kraškega površja se dvigajo posamezni vrhovi kot Lipovec (818) in Kula (887) v višine nad 800m. V vegasto površje med vzpetinami so poglobljene večje vrtače in podolgovate uvale. Največji uvali sta Popova rustinja in Rakitovec. Poglobljeni sta ob izrazitih prečno dinarskih oziroma balatonskih prelomnih conah. V podlagi so dobro zakraseli zgornje jurski apnenci, ki se na severnem obrobju Popove rustinje stikajo z zgornjekrednimi slabše prepustnimi skladi. V njih se pojavljajo vode, ki po kratkem površinskem toku poniknejo v zakraselo podlago. Največji med njimi je potok Reka, ki izginja v slepi dolini Ponikve. Manjša občasna potočka sta še na Pesjaku zahodno od Ponikev in v Rakitniku ter pri Gaju (slika 8).

Ponikalnica Reka se izgublja v več požiralnikih v višini okrog 690 m. Njeno povodje meri 0.87 km<sup>2</sup>, dolgo je 1,8 in široko največ 1 km. Razvodna slemena segajo v višine med 800 in 900m. Široka dolina se nad požiralniki nadaljuje z nizom vrtač, ki so poglobljene v dno viseče suhe doline. Ta je usmerjena proti severozahodu in je odrezana s strogo severno rebrijo v povirju Klampferja. Površinske vode iz manjprepustnih zgornjekrednih plasti z vložki roženca in laporja izginjajo v bolj zakrasele jurske apnence v podlagi. Jurske kamnine grade pretežni del vzhodnega zaledja Krupe, v smeri proti Težki vodi na severu in proti Metliškemu Obrhu so na površju obdani z manjprepustnim triasnim dolomitom. Po razpoložljivih geoloških podatkih smo pričakovali, da je vsaj del voda Reke usmerjen v okrog 13 km oddaljeno Krupo. Glede na razdaljo, majhen pretok ponikalnice (0.1–10 l/s) in precejšnjo izdatnost Krupe (500 – 15.000 l/s) smo se odločili, da obarvamo Reko z najmanj 15 kg uranina.

Odmaknjena lega in težaven dostop nista omogočala dodatnega zalivanja, počakati smo morali na bolj namočeno jesensko obdobje. Zasuti aluvialni požiralniki v ponorni kotanji pa imajo omejeno požiralnost in višje vode v njej zastajajo. Z odkopavanjem smo nekoliko razširili ustje največje ponikve in vanj napeljali potok, ki se je sicer izgubljal v peščeno ilovnati naplavinu.

Ob začetku barvanja, dne 15.10.1991, je ponikalo v strugi okrog 0,3 l/s. Potok je že po eni uri reagiral na padavine in pretok je narastel na 1 l/s. Pri tem pretoku je voda začela zastajati v spodnjem požiralniku. Ob 14 uri smo vanj vlili 15 kg raztopljenega uranina. Vlivanje je trajalo okrog 15 minut, ker je bil požiralnik na robu zmogljivosti, smo počasi dodajali barvilo. Potok pa je med vlivljenjem naraščal, zato smo ga višje v strugi zaježili, da je barvilo odteklo v

podzemlje. Ko smo jez na potoku predrli je voda zalila ponorno kotanjo in pospešila odtok uranina. Pri tem barvanju so sodelovali mag. J. Kogovšek, mag. N. Zupan, mag. A. Mihevc in J. Hajna in F. Drole.

### Barvanje v Malinski dragi

V osrednjem višjem zaledju Krupe med ponikalnico v Rožnem Dolu in Ponikvami na Gorjancih ni primernega požiralnika za izvedbo sledilnega poskusa. Na visokem hrbtu med Krko in Krupo smo v ta namen pregledali tudi speleološke objekte na Radohi, okrog Peščenka (846) in Škrbca (774), pa tudi med Plešem (626), Brezovo rebrijo(461) in Lužo pri Jugorju. Nikjer nismo našli primernege mesta za vlitje sledila. Po morfostrukturnih in geoloških značilnostih smo sklepali, da se pretežni del tega visokega hrpta odceja v Krko. Morda se del kraških voda s tega območja pojavlja tudi v Topliški Sušici, v izvirih ob Petelinu in v Težki vodi, vendar sledenja v tako obsežnem in še ne dovolj poznanem kraškem vodnosniku z razpoložljivimi sredstvi nismo mogli izpeljati.

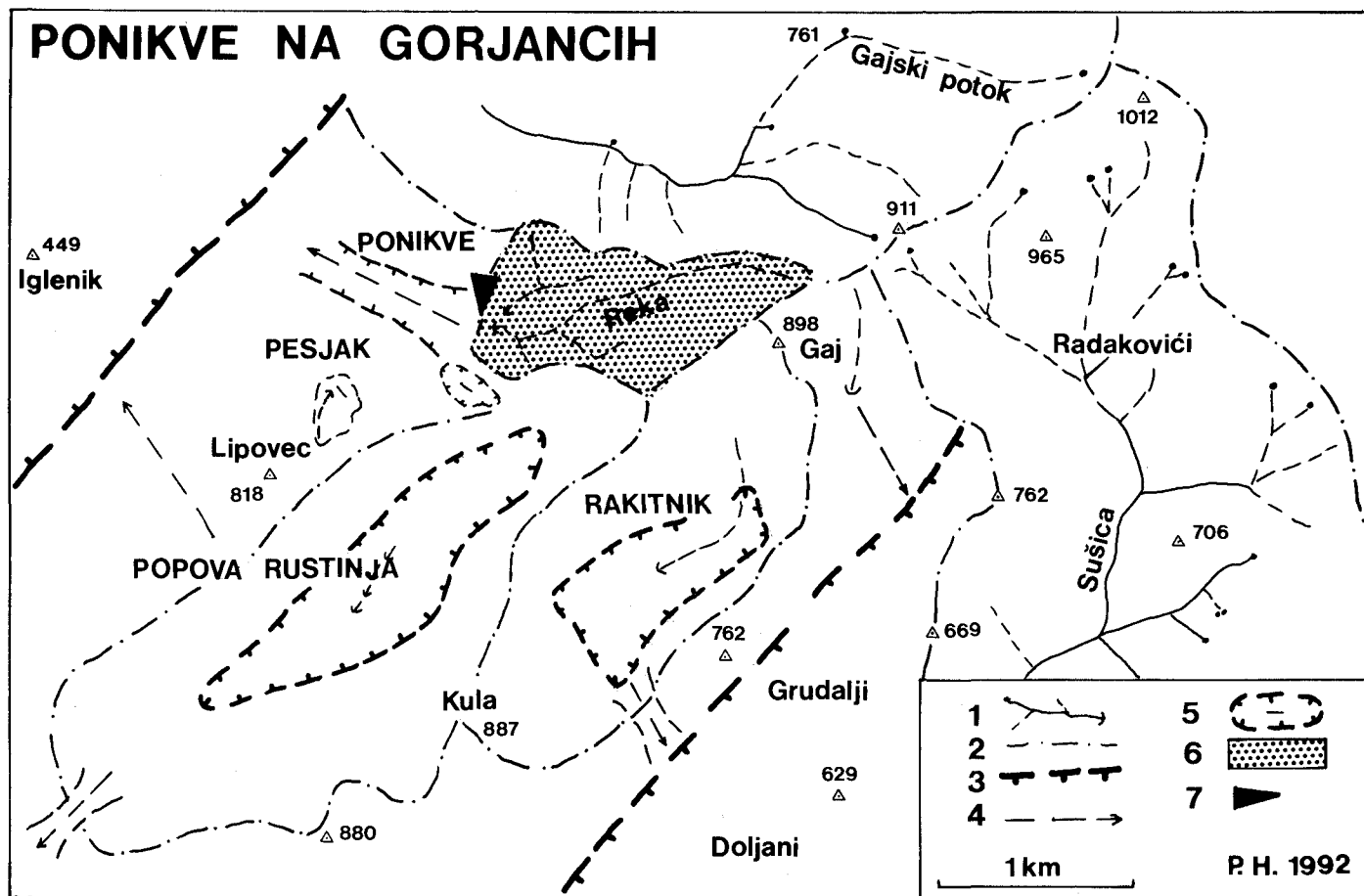
Ker tudi v ožjem zaledju Krupe v okolici Semiča in nad njim nismo našli primerne lokacije za vlitje sledila, smo se odločili za poskusno sledenje z zalivanjem v območju geomorfološko in geološko izrazite in razmeroma lahko dostopne Malinske drage. V njenem vzhodnem delu smo za poskus izbrali večjo lijakasto vrtačo. V njeno dno smo izvrtali več ročnih vrtin. Ugotovili smo, da je gruščnato dno v podlagi prekrito z 1 do 3,5 m debelo plastjo temne humozne ilovice. Očitno je iz dna vrtače v podzemlje že sprana vsa starejša rdeča kraška ilovica, ki je v sosednjih skledastih vrtačah in po lepo obdelani Malinski rebri še na debelo odložena. Vrtača je izoblikovana v izraziti prelomni coni v zgornje jurskih skladovitih apnencih. Ob prelomu je v strmo reber poglobljena celotna, 1500 m dolga, 500 m široka in dobrih 50m globoka Malinska draga (slika 9).

V vrtine v dnu vrtače smo najprej poskusno vlili pripeljano vodo. Plitvejšee so se hitro napolnile in niso kazale pomebnejše požiralnosti. Najgloblja med njimi pa je že spočetka požirala curek vode, ki je pritekal po gasilski cevi iz okrog 20 m višee stoječe avtomobilske cisterne (slika 9). Ker se je z zalivanjem njena požiralnost postopno povečevala, smo nato vanjo vlili 15 kg v sodu raztopljenega rodamina. Vlivanje je trajalo okrog 15 minut in je bilo končano 23.10.1991 ob 14 uri. Za barvilom smo zlili v vrtino še 20.000 l vode, pripeljane iz Metlike. Pri tem sledenju so sodelovali mag.S.Šebela, mag.A.Mihevc in J. Hajna.

### Opazovanje in vzorčevanje izvirov

Pred vlitjem uranina na Ponikvah smo organizirali zajemanje vzorcev v izvirih Težke vode (Kožar Marija, G.Težka Voda), Krupe (Mihelčič Antonija, Moverna vas) in Metliškega Obrha ( delavci Komunalnega podjetja Metlika). Slep vzorce smo vzeli že 24.9.1991 in nato 15.10.1991, ko smo začeli z rednim dvakrat dnevnim zajemanjem vzorcev. Vzorčevanje je trajalo do sredine decembra in vmes ni bilo večjih problemov z opazovalci. Bili so vestni in tudi že izkušeni. Večje probleme smo imeli z opazovanjem vodostajev. Provizorične late so bile pripravne za nizke vode. Ker pa je po vlitju nastopilo izdatno deževje, nismo mogli med sledenjem razen ob Metliškem Obrhu spremljati vodnih količin.





Vode so narasle že naslednji dan po vlitju uranina, nato pa so do 19.10. enakomerno upadale. Že naslednji dan, to je 20. 10. so močni nalivi povečali pretoke in precej skalili vode. V naslednjih 15 dneh ni bilo izdatnejšega dežja, zato so vode počasi upadale. S 5. novembrom se je pojavil nov vodni val, ki so mu v presledkih sledili še manjši sunki ob daljšem nestalnem vremenu. Izdatno deževje okrog 20.11. je spet napolnilo kraško podzemlje. Sledil je visok vodni val, ki je trajal do konca novembra in je nato v decembru počasi upadal (slika 10).

#### Analize vzorcev na fluorescentna sledila

Vsi zajeti vzorci so bili analizirani v laboratoriju Inštituta za raziskovanje krasi ZRC SAZU z luminiscenčnim spektrometrom Perkin-Elmer LS 30 v času od oktobra 1991 do januarja 1992 pod vodstvom mag. Janje Kogovšek, dipl. ing. kem. Meja detekcije uranina znaša  $0.005 \text{ mg/m}^3$ , rodamina pa  $0.01 \text{ mg/m}^3$ .

TABELA 10: Število analiziranih vzorcev

Vzorčno mesto	vzor.uranina	vzor.rodamina	skupaj
1. Težka voda	175	93	268
2. Krupa	91	169	260
3. Metl. Obrh	101	101	202
Skupaj	367	363	730

#### Rezultati sledenja Ponikev z uraninom

Uranin iz Ponikev na Gorjancih se je pojavil najprej v Metliškem Obrhu in Krupi po 90 urah, v Težki vodi po 100 urah. V podobnem časovnem razporedu so se pojavili tudi viški barvnih valov. V Obrhu po 137, v Težki vodi po 142 in v Krupi po 148 urah. Glede na oddaljenost izvirov od ponikev so navidezne hitrosti najmanjše v smeri proti Težki vodi ( $1,23 \text{ cm/s}$ ) in največje proti Krupi in Obrhu ( $2,4 \text{ cm/s}$  in  $2,1 \text{ cm/s}$ ).

Pomembnejše so razlike v koncentracijah, saj je v Težko vodo odtok pretežno del uranina, barvni val pa je trajal vse do kraja opazovanja ob koncu decembra. Največja koncentracija uranina, in sicer  $10,20 \text{ mg/m}^3$ , je bila zabeležena 21.10. 1991. ob 12 uri (Slika 10).

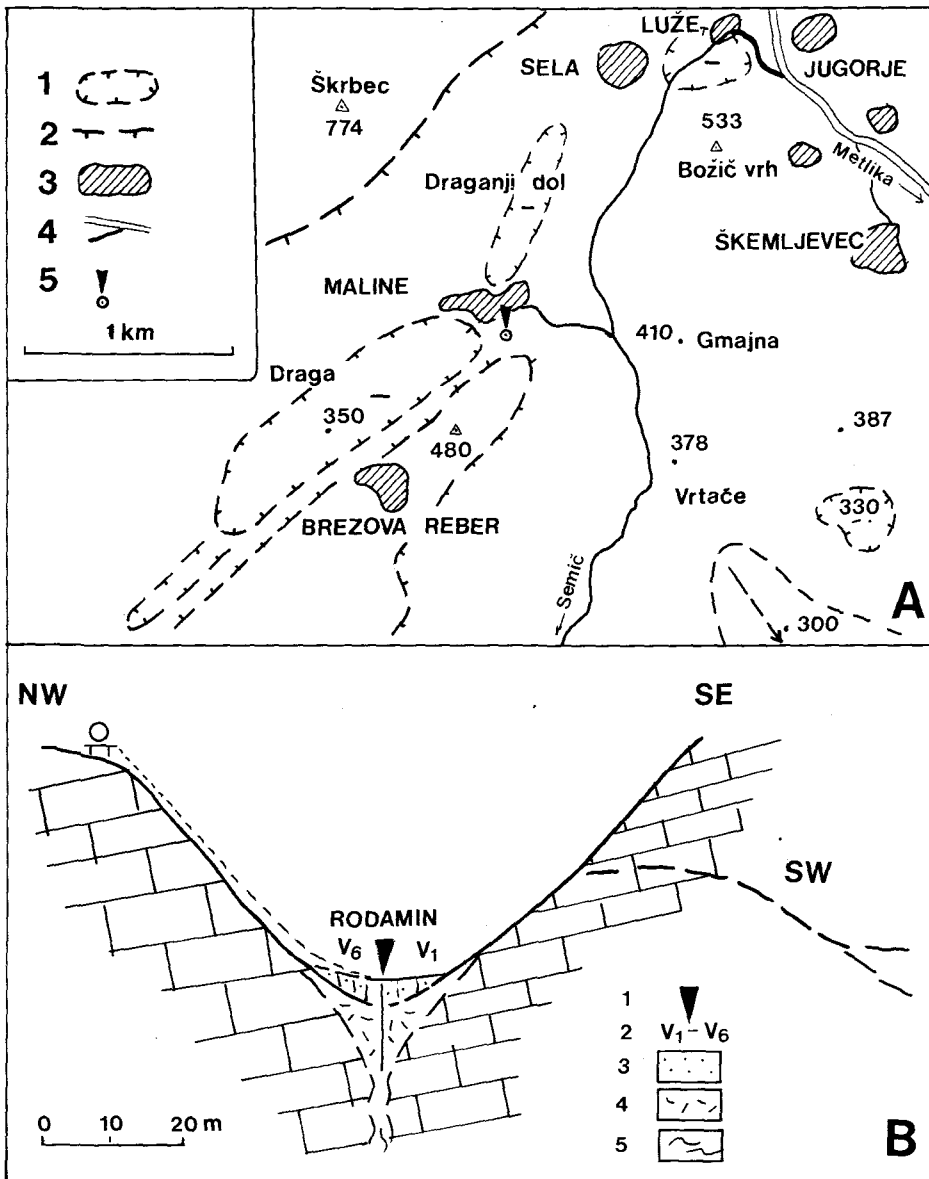
V Krupi je znašala najvišja koncentracija komaj  $0,025 \text{ mg/m}^3$  uranina v valu, ki je trajal le 10 dni, nato pa se je barva razredčila pod mejo določljivosti. V Krupi je bila torej koncentracija uranina več kot 400 krat manjša kot v Težki vodi. V primeru premajhne količine uporabljenega sledila bi v Krupi tega ne zasledili in interpretacija povezav bi bila bistveno drugačna.

#### Slika 8. Položaj Ponikev na Gorjancih

1) ponikalnica z izvirom in ponorom, 2) orografsko razvodje, 3) rob kraške planote, 4) suha dolina, 5) uvala, 6) porečje Reke, 7) kraj vlitja uranina.

Fig. 8. Situation of Ponikve on Gorjanci

1) sinking stream with spring and ponor 2) orographic watershed 3) border of karst plateau 4) dry valley 5) ouvala 6) Reka water basin 7) the point of uranine injection



Slika 9. Položaj (A) in presk (B) vrtače v Malinski dragi

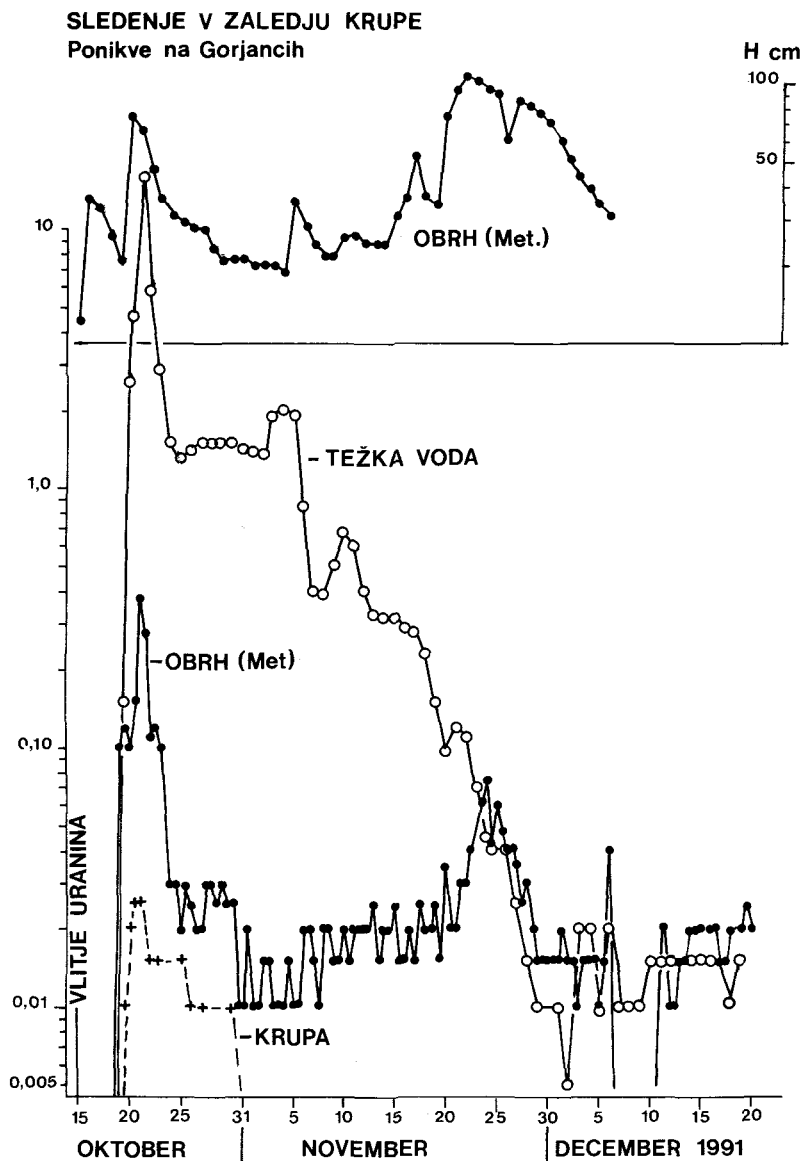
A - 1) uvala, 2) rob kraške planote, 3) naselje, 4) cesta, 5) kraj vlitja rodamina.

B - 1) ilovica v vrtači 2) grušč, 3) razpoklinska cona 4) ročne vrtnine 5) kraj vlitja rodamina

Fig. 9. Situation (A) and doline cross section (B) in Malinska draga

A - 1) ouvala 2) border of karst plateau 3) settlement 4) road 5) the point of rhodamine injection

B - 1) loam in the doline 2) rubble 3) fissure zone 4) manual bore-hole 5) the point of rhodamine injection



Slika 10. Krivulje koncentracij uranina v izvirih Teška voda, Metliški Obrh in Krupa ter hidrogram Obrha po sledenju, 15.10.1991, v Ponikvah na Gorjancih

Fig. 10. Uranine concentration curve in the springs Teška voda, Metliški Obrh and Krupa and the hydrogram of Obrh after tracing, 15 October 1991 in Ponikve on Gorjanci

V Metliškem Obrhu je bila koncentracija uranina sicer 27 krat nižja kot v Težki vodi, vendar je dosegla 21.10. ob 7 uri  $0.380 \text{ mg/m}^3$  in po drugem deževju, 23.11.1991, nov vrh z  $0.075 \text{ mg/m}^3$ . Uranin je bil v Težki vodi in v Obrhu opazen vse do konca decembra, ko smo prenehali z vzorčevanjem.

Voda iz Ponikev na Gorjancih se torej razteka na tri strani, največji del Reke odteče v Težko vodo, znaten del v Metliški Obrh, najmanjši pa v Krupo. Količinsko razmerje se ob različnih vodnih razmerah lahko spreminja, saj na podzemeljsko raztekanje pomembno vpliva napolnjenost ali izpraznjenost kraškega vodnosnika. Visoki vodni valovi, ki so sledili vlitju, so prispevali k velike-mu razredčenju z vodami iz širšega zaledja. V tem pogledu je razumljiva nizka koncentracija uranina v Krupi. Toda ta izvir je med vsemi najizdatnejši, po legi najnižji in vanj se očitno stekajo vode tudi iz zelo oddaljenega območja na razvodju med Težko vodo in Metliškim Obrhom. Hitreje odtekanje proti Krupi in Obrhu je v nasprotju z večjim količinskim odtekanjem proti Težki vodi. Na nehomogenost kraškega vodnosnika opozarja tudi višinska razlika med izviri, saj je preliv pri Težki vodi v nadmorski višini 195m, pri Obrhu 141 in pri Krupi 135m.

S tem slednjem smo dobili izredno zanimive in dragocene podatke o raztekanju vode na razvodju med Krko in Kolpo. Odprli pa so se novi problemi o razmerah v kraškem podzemlju, ki jih bo treba še preučiti, zlasti v povezavi z morebitnim novim zajemanjem voda tega kraškega vodnosnika. Opozoriti velja tudi na pomanjkljivost, ki se je pokazala ob dobljenih rezultatih. Vzorčevati bi namreč morali dalj časa, koristno pa bi bilo zajemati vzorce tudi v raziskovalnih vrtinah pri Doljanah in Ravnacah.

#### Rezultati sledenja v Malinski dragi z rodaminom

Rodamin iz Malinske drage se je pojavil v Metliškem Obrhu že po 170 urah in barvni val z več vrhovi (po 331, 530, 674 in 763 urah) je bil daljši od dveh mesecev (slika 11). To je značilno za poskus z zalivanjem nenasičenega vodnosnika s tipičnim enostavnim odtočnim režimom. Vkljub izdatni količini uporabljenega sledila je maksimalna koncentracija dosegla v prvem vrhu 0.10, v drugem 0.12, v tretjem 0.40 (24.11.ob 7 uri) in v četrtem, 28.11.ob 7 uri,  $0.21 \text{ mg/m}^3$ . Pomembno je, da se je koncentracija ob znižanju pretokov v drugi polovici decembra ponovno nekoliko dvignila in da je iztekanje rodamina še trajalo ko smo prenehali z vzorčevanjem. Vkljub izrazitemu barvnemu valu, v katerem so se vmes koncentracije znižale zaradi dežja, je verjetno sledilo v Obrhu še dolgo iztekalo, kar pri organizaciji vzorčevanja nismo dovolj upoštevali. Ponovno se je pokazalo, da je treba pri sledenju z zalivanjem v slabo pretočnem kraškem vodnosniku računati z daljšim zadrževanjem sledil v podzemlju. Mednarodne izkušnje opozarjajo, da je sledenje z rodaminom v tem pogledu še posebej občutljivo, ker se barvilo sprva veže na okolje, nato pa počasi izpira (SHIAU et al. 1992).

Odtekanje podzemne vode iz območja Malinske drage proti Obrhu je vsaj trikrat počasnejše kot iz Ponikev na Gorjancih. V prvem primeru znaša navidezna hitrost 0.3, v drugem 1.5 cm/s. Rodamin se je pojavil tudi v Krupi z značilnim valom po 600 urah, 18.11.ob 7 uri, v koncentraciji  $6.00 \text{ mg/m}^3$  in s hitrostjo 0.3 cm/s. Nižje koncentracije rodamina so bile sicer zabeležene že prej, celo pred vlitjem rodamina, zato niso zanesljive. Možno je, da izvirajo še od prej-

šnjih sledenj, ali pa je v zaledju Krupu nekaj organskih snovi, ki otežujejo spektrometrično ugotavljanje nizkih koncentracij rodamina. Podobno velja tudi za Težko vodo, kjer se je rodamin pojavil v približno enakih koncentracijah že pred vlitjem, kot tudi kasneje v občasnih valih s koncentracijo le malo nad mejo določljivosti. S temi pojavi povezave niso zanesljivo dokazane. Z analizo dodatnih vzorcev bo potrebno pojavljanje nizkih koncentracij rodamina še pojasniti. Po izrazitem barvnem valu, med 17.in 30.11.1991, ko je deževje znižalo začetne koncentracije za skoraj 100 krat, smo tudi Krupo prenehali vzorčevati (slika 11).

TABELA 11: Primerjava navideznih hitrosti voda

Ponor / Izvir	datum	sledilo	razd. km	čas h	hitrost cm/s
Vrčice-Krupa	10. 5.1989	fagi	6	72	2.3 *)
Mirn.g-Krupa	10. 5.1989	uranin	10.5	816	0.3 *)
Rož.Dol-Krupa	27. 6.1990	cozin	8	355	0.6 +)
Rož.Dol-Sušica	27. 6.1990	cozin	6	720	0.2 +)
Bajer-Krupa	15.10.1990	fagi	6	42	3.9 ^)
Reka -Krupa	15.10.1991	uranin	12.8	148	2.4
Maline-krupa	23.10.1991	rodamin	6.5	600	0.3
Maline-Obrh	23.10.1991	rodamin	9.5	170	1.5
Ponikve-Obrh	15.10.1991	uranin	10.4	137	2.1
Sušica-Obrh	15. 5.1986		6.75	480	0.39 **)
Pris.p-Obrh	1985		5.6	48	3.24 **)
Reka -Tež.v.	15.10.1991	uranina	6	142	1.2

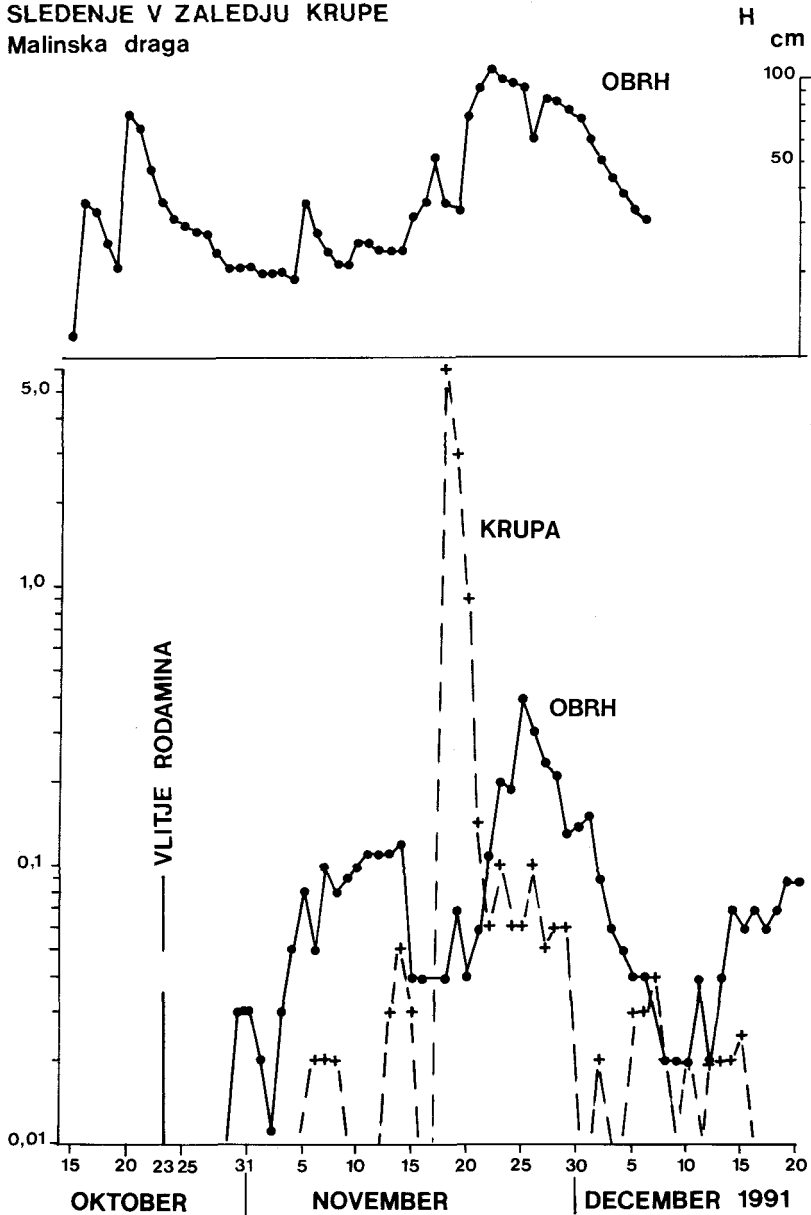
\*) Habič et al.1990; +) Habič,1991; \*\*) D. Novak,1989 ; ^) Bricej 1990.

Sledilni poskus z rodaminom je vkljub vsemu nedvoumno dokazal raztekanje kraške vode iz območja Malinske drage v Krupo in Metliški Obrh. To pa povsem nanovo osvetljuje razmere v zaledju Metliškega Obrha. Doslej so raziskovalci (NOVAK,1989, NOVAK,1991) namreč predvidevali, da metliška narivna ali preloma cona predstavlja zahodno mejo kraškega zaledja Obrha. Zveza Obrha z Malinsko drago dokazuje kraško cirkulacijo pod dolomitno cono, ki se vleče od Metlike proti Suhorju. Ta ne predstavlja hidrološke bariere, ker je bodisi prepustna zaradi velike razlomljenosti, ali pa so pod njo bolj zakraseli apnenci. V tem primeru je dolomit narinjen in leži za zakraselih apnencih, ki omogočajo tudi odtok iz Ponikev pod dolomitom tako v Obrh kot v Težko vodo. S temi razmerami je potrebno računati pri morebitnem globinskem zajemanju voda v obravnavanem dolomitnem vodonosniku.

## POSKUSNA OMEJITEV ZALEDJJA KRUPA

Kraškega zaledja Krupa doslej ni še nihče podrobneje omejeval. PLUT (1988, 178) je pri omejitvi Zgornjega Pokolpja začrtal orografsko razodnico z vrha(1029) severno od Mirne gore (1048) prek Brezja (538) na Markovo glavo (758 , po karti 1: 25.000 je tam kota 755), dalje okrog Rožnega Dola (415) na koto 843, verjetno je to Peščenik (846), prek Škrbca (774) na Vahto (615). Ta

**SLEDENJE V ZALEDJU KRUPE**  
**Malinska draga**



Slika 11. Krivulje koncentracij rodamina v izviru Krupa in v Metliškem Obrhu po sledenju, 23.10.1991, v Malinski dragi.

Fig. 11. Rhodamine concentration curve in Krupa spring and in Metliški Obrh after tracing, 23 October 1991 in Malinska draga

orografska meja ne razmejuje zaledja Krupe na zahodni strani z vodami Kočevskega Roga in Poljanske gore kot tudi ne na vzhodni strani s porečjem Metliške Sušice in Obrha. Vsekakor je po PLUTU zaledje Krupe sodeč po pretokih, zelo široko in obsega severni del Bele krajine in sicer del nizkega blokrajnskega kraškega ravnika kot tudi del Gorjancev nad Semičem. V vsakem primeru je po Plutovem mnenju voda Krupe oziroma njenega zaledja dolgoročno osnovni vir pitne vode za celotno Belo krajino. Le zajeti bi jo morali zunaj onesnaženega območja. V ta namen pa so potrebne še dodatne hidrogeološke raziskave.

S sledenjem Ponikev na Mirni gori in Vrčic nad Semičem (HABIČ et al. 1990) smo ugotovili, da se zaledje Krupe dejansko širi prek izrazite žužemberške prelomne cone v območje Kočevskega Roga. Od tam se sicer del visokih voda odteka v Dobljico in v Radešico, del baznega toka iz obsežnega sklenjenega kraškega vodonosnika pa napaja Krupo kot najnižje ležeči izvir (slika 1). Ker se uranin iz požiralnika Topličice v zaledju Jelševnika ni pojavil v Krupi, prav tako pa tudi ne eozin in Otovca (HABIČ, 1991) domnevamo, da se vode iz območja Mirne gore in iz še neopredeljenega zahodnega sosestva odteka v Krupo nekje severno od Gornje Pake. Sledi rodamina ob barvanju Miklarjevega zdenca v zaledju Dobljice ne kaže sprejeti že za dokazano povezavo, ne gre pa je povsem prezreti. Skupaj s predčasnim pojavom rodamina v Krupi in Težki vodi ob barvanju Malinske drage predstavlja uganko, ki jo bo mogoče pojasniti le s ponovljenimi poskusi.

Glede na dokazano bifurkacijsko območje v okolici Rožnega Dola lahko tudi v območju Radohe in zahodnih Gorjancev pričakujemo široko kraško raztekanje. Brez dodatnega sledenja v tem območju ne moremo opredeliti razvodnih razmerij med Krupo in pritoki Krke. Razmeroma visoko in nenaseljeno gozdno razvodno območje ni posebej ogroženo, varovati pa ga je potrebno v celoti in preprečiti vsakršno odlaganje odpadkov. Z njega se steka v Krupo znaten del voda, ki bi jih morda lahko zajeli nekje v bližini Malinske drage.

Med Krupo in Težko vodo bi bilo potrebno glede na bolj izpostavljeno prometno in naseljeno območje razvodje še natančneje opredeliti, v vsakem primeru pa je potrebno varovati ves predel, ki hrani oba pomebna vodna vira tako na belokrajnski kot na novomeški strani.

Podrobnejše ugotavljanje razvodja med Krupo in Metliškim Obrhom v Gorjancih ne bi bilo posebej smiselno, ker je očitno, da se kraške vode iz širokega območja razlivajo v obe smeri. Posebej pa bi veljalo preučiti podzemne vodne razmere ob morebitnem izdatnejšem črpanju voda iz skupnega zaledja.

Z opravljenimi sledilnimi poskusi smo se precej približali spoznanju o razsežnosti in prostorski razporejenosti zaledja Krupe, hkrati pa smo spoznali tudi pomembne značilnosti kraških zaledjih sosednjih izvirov Težke vode in Metliškega Obrha. Za temeljitejša razumenja razmer v skupnem kraškem vodonosniku pa so potrebne nadaljnje meritve, analize in raziskave.

## SKLEP

Raziskave v letu 1990 in 1991 so vkljub oviram prispevale pomembne nove izsledke o pretakanju vode v zakraselih karbonatnih vodonosnikih v zaledju Krupe, Topliške Sušice, Metliškega Obrha in Težke vode na Gorjancih v jugovzhodni Sloveniji. Po geološki zgradbi pripada ves predel Zunanjim Dinaridom in v njem se prepletajo narivne enote in prelomi vzdolžne dinarske in prečne



balatonske smeri. Prevladujejo jurski in kredni apnenci z manjšimi vložki dolomitov in rožencev. Zgornje triasni dolomiti so omejeni na ožje območje med Črmošnjicami in Rožnim Dolom ter v zaledju Težke vode in Metliškega Obrha. Zaradi tektonske zdobljenosti so lokalno manj prepustni, v njih se pojavljajo izviri in kratki potoki, ki ob stiku z apnenci ponikajo. V vzhodnem delu obravnavanega območja prevladuje na površju zgornje kredni fliš s površinskim odtokom. Potoki s tega fliša, še posebno v nekdanjem porečju Metliške Sušice, ponikajo v zakraselo podlago in napajajo znaten del celotnega kraškega vodonosnika.

Mladi tektonski premiki ob vzdolžnih dinarskih (NW–SE) in prečnih balatonskih prelomih (NE–SW) so izravnano in zakraselo površje razkosali in stopnjasto dvignili v osrednjih hrbet Gorjancev z višinami med 800 in 1000 m. Z Gorjancev se površje stopnjasto znižuje na sever h Krki v Novomeški kotlini in na jug h Kolpi v Belokrajnski kotlini. V nižinah prevladuje bolj uravnan kraški vrtačasti ravnik, v višjih predelih pa so hrbti razčlenjeni v kopaste vrhove in manjše vrtačaste ravnate. V bolj prelomljenih in zato prepustnejših conah so kraško poglobljene uvale, ki skupaj z nizi vrtač in jam nakazujejo strukturne značilnosti kraškega vodonosnika.

S primerjavo fizikalno kemijskih lastnosti ponikalnic in izvirov smo spoznali nekatere sorodnosti kraških voda. Razlike so večje med površinskimi vodami; temperature, trdote in druge lastnosti večjih kraških izvirov pa so bolj izenačene. Nakazujejo globok kraški vodonosnik, v katerem se zunanji vplivi še posebno ob nizkih vodostajih precej izravnavajo. V takšnih razmerah ima vsak večji kraški izvir specifično sestavo, iz katere pa ne moremo spoznati prepletenega pretakanja v vodonosniku, kakršnega dokazujejo sledilni poskusi.

S sledenjem je dokazan odtok dolomitnih voda z območja Rožnega Dola v Krupo in prelivanje ob višjih vodostajih v T. Sušico. Pomembna je ugotovitev o kraškem raztekanju voda iz območja Ponikev na Gorjancih tako v izvire Težke vode, v Metliški Obrh in v Krupo. Z zalivanjem vrtače v Malinski dragi je ugotovljeno bifurkacijsko kraško območje med Krupo in Metliškim Obrhom. Pri opredeljevanju zaledja teh izvirov je treba računati s široko razvodno cono, ki napaja vse tri izvire hkrati.

Dolomit med Črmošnjicami in Rožnim Dolom ter med Metliko in Suhorjem predstavlja le delno, predvsem visečo bariero in pod njim se vode normalno kraško pretakajo iz Ponikev v Obrh in Težko vodo in iz Malinske drage v Obrh in Krupo ter iz Ponikev na Mirni gori v Krupo. Krupa je najnižji izliv iz globokega in vodnatega vodonosnika, zato je njen vodni režim značilen za globinsko bazno iztekanje iz obsežnega kraškega vodonosnika. S podrobno analizo sledenja in z opravljenimi morfostrukturnimi raziskavami je nakazana najprimernejša lokacija za zajemanje kraške podtalnice izven onesnaženega območja Krupe v širši okolici Malinske drage. Koristno pa bi bilo preveriti tudi hidrogeološke razmere v Kotu ob žužemberški prelomni coni, kjer naj bi z vrtnami dosegli vode, ki se stekajo v Krupo iz Mirne gore in Kočevskega Roga.

## VIRI IN LITERATURA

- Bricelj, M., 1991: Poročilo o opravljenem sledilnem poskusu v zaledju Dobljčice s salmonelnim fagom P22H5. Inštitut za biologijo univerze v Ljubljani.
- Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M. & M.Čakalo, 1984: Tolmač za list Črnomelj. OGK, Beograd.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica*, 10, 75–105, Ljubljana.
- Gams, I., 1961: H geomorfologiji Bele krajine. *Geografski zbornik* 4, 191–240, Ljubljana.
- Habič, P., 1984: Strukturne oblike v kraškem reliefu Dolenjske in Bele krajine. *Dolenjska in Bela krajina, GDS*: 57–66, Ljubljana.
- Habič, P., Kogovšek, J., Bricelj, M., & M. Zupan, 1990: Izviri Dobljčice in njihovo kraško zaledje. *Acta carsologica*, 19, 5–100, Ljubljana.
- Habič, P., 1991: Raziskovanje Dobljčice in Krupe, 5. del. Rokop. 75 str., 6 pril. in 22 sl., Arhiv IZRK ZRC, Postojna.
- Hudoklin, A., 1992: Slap v breznu Pečenevka. *Proteus*, 54/8, 304–306, Ljubljana.
- Kataster jam Slovenije, Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Kranjc, A., 1982: Rupa na Brodu. *Dolenjski kras*, 1, 49–50. Novo mesto.
- Kranjc, A., 1990: Dolenjski kraški svet. *Dolenjska založba*, 240 str., Novo mesto.
- Ladišič, B., 1986: Speleološke in hidrografske raziskave prispevnega območja izvirov Težke vode. *Naše jame*, 28, 26–31, Ljubljana.
- Ladišič, B., 1987: Speleološke raziskave novomeškega Podgorja. *Dolenjski kras* 2, 10–16, Novo mesto.
- Novak, D., 1989: Hidrogeološke razmere v zaledju izvira Obrh v Metliki. *Naše jame*, 31, 7–14, Ljubljana.
- Novak, D., 1991: Novejša sledenja kraških voda v Sloveniji po letu 1965. *Geologija* 33, 461–478, Ljubljana.
- Pleničar, M. & U. Premru, 1977: Tolmač za list Novo mesto. OGK, Beograd.
- Plut, D., 1988: Belokrajske vode. *Dolenjski muzej*. Novo mesto.
- Premru, U., 1982: Geološka zgradba južne Slovenije. *Geologija* 25/1, 95–126, Ljubljana.
- Shiau, B., D.A.Sabatini & J.H.Harwell, 1992: Sorption of Rhodamine WT as affected by molecular properties. *Tracer Hydrology*, Balkema, 57–64, Rotterdam.

## WATER TRACING IN THE KRUPA KARST CATCHMENT, SE SLOVENIA (Summary)

The researches in 1990 and 1991 have contributed in spite of various obstacles important results on water circulation in the karstified carbonate aquifers in the catchment area of Krupa, Topliška Sušica, Metliški Obrh and Težka voda sources on Gorjanci Mt. in SE Slovenia. Referring to geological setting the whole area belongs to Outer Dinarides where the overthrust units and faults of longitudinal Dinaric and transverse Balaton directions are alternating. Jurassic and Cretaceous limestones with some inliers of dolomite and chert prevail. Upper Triassic dolomites are limited to narrow area between Črmošnjice and Rožni Dol, to the background of Težka voda and Metliški Obrh.

Due to tectonically crushed rocks they are locally less permeable, sources and short brooks appear in them and sink again on the contact with the limestones. In the eastern part of the treated area on the surface the Upper Cretaceous flysch with superficial outflow prevails. The brooks outflowing from this flysch, in the area of former river basin of Metliška Sušica in particular, sink in the karstified base and feed substantial part of the entire karst aquifer.

Young tectonic displacements along the longitudinal Dinaric (NW-SE) and transverse Balaton faults (NE-SW) dismembered the levelled and karstified surface and uplifted it in upward steps into the central ridge of Gorjanci with the altitudes between 800 to 1000 m. From Gorjanci the surface lowers in steps northwards towards Krka in the basin of Novo mesto and southwards towards Kolpa in the basin of Bela krajina. In the lowland more levelled karst plain with dolines prevails while in higher regions the ridges are dissected into the cone-shaped hills and smaller undulated karst plains dotted by dolines. In more faulted and hence more permeable zones the karstic deepened ouvalas are found, evidencing together with the series of dolines and caves structural properties of the karst aquifer.

Comparing physico-chemical properties of the sinking streams and sources we recognized some affinity between the karst waters. Differences are bigger among the superficial waters while the temperatures, hardnesses and other properties among bigger karst springs are more balanced. They evidence a deep karst aquifer where the external influences are rather equalized, during low water table in particular. In such conditions each bigger karst spring has a specific composition which does not evidence the complicated water circulation in the aquifer and was namely demonstrated by the tracing tests.

By water tracing the outflow of the dolomitic waters from the area of Rožni Dol into Krupa and overflow during high waters into T. Sušica was proved. However the statement on karst water bifurcation from the area of Ponikve on Gorjanci in the springs of Težka voda and in Metliški Obrh and in Krupa is important. By watering the doline in Malinska draga the bifurcation karst area between Krupa and Metliški Obrh was stated. Defining the hinterland of these springs one has to reckon with a large waterparting zone feeding all three sources at a time.

The dolomite between Črmošnjice and Rožni Dol and between Metlika and Suhorje presents a partial, mostly hanging barrier and below it the waters flow in a usual karstic way from Ponikve into Obrh and Težka voda and from Malinska draga into Obrh and Krupa and from Ponikve on Mirna gora into Krupa. Krupa is the lowest outflow from the deep and rich aquifer storage and this is why its water regime is characteristic for deep basic outflow from the vast karst aquifer. By detailed analysis of tracing and by performed morphostructural researches the most suitable location for karst groundwater pumping out of the polluted area of Krupa in the wider vicinity of Malinska draga is foreseen. However it would be useful to check the hydrogeological conditions in Kot along the Žužemberk fault zone where the water, flowing together into Krupa from Mirna gora and Kočevski Rog, should be reached by the bore-holes.

**STRUKTIRNO-GEOLOŠKE IN HIDROGEOLOŠKE  
RAZMERE IZVIROV MOŽNICE**

STRUCTURAL-GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL  
CONDITIONS AT THE MOŽNICA SPRINGS

JOŽE ČAR IN JOŽE JANEŽ

**Izvleček**

UDK 556.36 (497.12 Bovec)

**Jože Čar in Jože Janež: Strukturno-geološke in hidrogeološke razmere izvirov Možnice**

V dolini Možnice je ugotovljenih sedem izvirnih območij s skupnim pretokom 250 l/s ob nizkem vodostaju. Voda je bakteriološko in kemično kvalitetna. Podrobno litološko-tektonsko kartiranje v nasprotju z dosedanjimi interpretacijami kaže na osrednje zaledje izvirov Možnice v zgornjetriasnem apnencu kraškega masiva med Jezersko dolino v Italiji in dolino Možnice. Večji del rombonskega masiva pripada zaledju Glijuna.

**Abstract**

UDC 556.36 (497.12 Bovec)

**Jože Čar in Jože Janež: Structural-geological and hydrogeological conditions at the Možnica springs**

In the Možnica valley seven spring areas with common discharge of 250 l/s at low water table were stated. Bacteriologically and chemically the water is of good quality. Detailed lithological-tectonical mapping on the contrary to the previous interpretations evidences the central catchment area of the Možnica springs in the Upper Triassic limestone of the karst massif between the Jezerska dolina in Italy and the Možnica valley. A substantial part of the Rombon massif belongs to Glijun catchment area.

**Naslov - Address**

Dr. Jože Čar, dipl. inž. geol.  
Jože Janež, dipl. inž. geol.  
Razvojno-raziskovalni sektor  
Rudnik živega srebra Idrija  
Kapetana Mihevca 15  
65280 Idrija  
Slovenija

## VSEBINA

PROBLEMATIKA .....	81
GEOLOGIJA MOŽNICE IN SPODNJEGA DELA KORITNICE .....	81
Obseg geološkega kartiranja .....	81
Litostratigrafski in sedimentološki podatki .....	82
Tektonske razmere .....	83
HIDROLOŠKE RAZMERE V DOLINE MOŽNICE .....	86
Izviri Možnice .....	86
Ponikalnice .....	88
BAKTERIOLOŠKE IN FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI IZVIROV MOŽNICE .....	88
Bakteriološke lastnosti .....	88
Fizikalno-kemične lastnosti .....	89
VPLIV STRUKTURNIH GEOLOŠKIH ELEMENTOV NA HIDROGEOLOŠKE RAZMERE V DOLINAH MOŽNICE IN KORITNICE .....	91
LITERATURA .....	92
SUMMARY .....	93



## PROBLEMATIKA

Določevanje prispevnih zaledij kraških izvirov in reševanje vprašanj, ki so bistvena za varovanje velikih in pomembnih vodnih zalog, zahteva dolgotrajne multidisciplinarne raziskave in opazovanja geološkega, hidrogeološkega, hidrološkega, geomorfološkega, krasoslovnega, speleološkega in meteorološkega značaja. Julijske Alpe kot celota v tem pogledu precej zaostajajo za drugimi predeli Slovenije. Manjkajo podatki o smereh pretakanja podzemnih voda, hidrološke meritve pretokov izvirov so redke in pomanjkljive, obstoječa mreža meteoroloških postaj je za tovrstne hidrogeološke študije preredka.

Kraški vodonosniki okoli Bovške kotline po svojih vodnih količinah presejajo lokalne okvire in spadajo med največje slovenske vodonosnike. Poznavanje hidrogeoloških razmer tega prostora daleč zaostaja za pomenom vodnih virov.

S hidrogeološkimi raziskavami v dolini Moznice smo s podrobnim litološko-tektonskim kartiranjem, hidrogeološkim kartiranjem, meritvami pretokov in bakteriološkimi ter kemičnimi analizami skušali razjasniti problematiko zaledja izvirov Moznice ter ugotoviti morebitne možnosti za gravitacijsko vodo-oskrbo Bovca. Rezultati kažejo, da ima izvir Moznice zaledje prvenstveno v masivu med Jezersko dolino v Italiji in dolino Moznice, medtem ko se iz Rombona, drugače kot se je mislilo dosedaj, stekajo vanjo le podrejene količine vode.

## GEOLOGIJA MOZNICE IN SPODNJEGA DELA KORITNICE

### Obseg geološkega kartiranja

Bovška kotlina z dolino Koritnice in Moznice se v okviru osnovne geološke karte merila 1:100.000 nahaja na listu Beljak in Ponteba. Karta je bila dotiskana leta 1986 (Jurkovšek, 1986), odgovarjajoči tolmač pa leto kasneje (Jurkovšek, 1987). Za preučevanje hidrogeoloških razmer so karte v merilu 1:100.000 seveda premajhne, posebno še, ker gre za tektonsko zapleteno, globoko zakrasedlo območje, bogato z vedno dragocenejšo pitno vodo. Zato je bila povsem razumljiva odločitev, da geološko pregledamo dno in spodnje dele dostopnih pobočij alpskih dolin Moznice in spodnjega dela Koritnice.

S kartiranjem smo zajeli območje Korit v zatrepnem delu Moznice na južni strani in celotno dostopno pobočje pod severno steno Rombona. Poleg celotnega dna zgornjega suhega dela Moznice smo pregledali korito Moznice med izviri pod počitniškim domom v Moznici do sotočja s Koritnico. Dodatne strukturno-tektonske podatke smo zbrali s kartiranjem južnih in vzhodnih pobočij Male Jerebice (1811 m) do višine približno 1400 m ter predela Kotline na juž-



nem obrobju Loga pod Mangartom. Geološko kartiranje Koritnice smo omejili le na dno struge in obeh brežin na odseku med HE Možnico in Kluzami.

### Litostratigrafski in sedimentološki podatki

Morfološko zelo razgibanemu terenu v dolini Možnice in spodnjem toku Koritnice dajejo kamninsko osnovo trije litološki različni zgornjetriasne starosti in morenski sedimenti (Jurkovšek, 1986, 1987) s pobočnimi grušči in aluvialnimi naplavinami (sl. 1). Južna pobočja doline Možnice oziroma podnožje rombonskega masiva, Velika in Mala Kanja, levi in desni breg doline Koritnice iznad Velike Kanje navzgor proti Logu pod Mangartom ter vzhodno vznožje Jerebice gradi norijsko-retijski "glavni dolomit". Kamnina je srednje do debelo plastnata in vpada od 50° do 25° proti jugozahodu. Vsebuje številne za zgornjetriasni dolomit značilne nadplimske in plitvodne sedimentne teksture. Zelo pogostni so algni stromatoliti s številnimi izsušitvenimi razpokami in porami fenestralnega (tudi "birdseye") tipa. Številne pore so zapolnjene z internim sedimentom z geopetalno teksturo. Redko opazujemo nepravilne onkoidne vložke in tanke plasti nadplimske breče. Po sedimentološko-petrografski plati najdemo v norijsko-retijskem dolomitu mikritne različke, dismikrite (loferit), različne bio in intramikrite ter alge in onkoidne biolitite. Sparitni različki kamnin so redki.

Na južnem pobočju Male Jerebice pod koto Na Kolenu postaja zgornjetriasni dolomit tanko plastnat (5 – 20 cm) in laminiran. Po medplastnatih nekontinuiranih vložkih črnega do temnosivega dolomitnega laporovca v debelini do 2 cm sklepamo, da gre za najnižji norijski dolomitni nivo ali morda celo že za zgornjekarnijske plasti (sl. 1).

Nad dolomitom leži zgornjetriasni dachsteinski apnenec. Na normalni superpozicijski meji med obema litološkima nivojema se nahaja horizont močno spremenjenih satastih kamnin. Debelina spremenjenih kamnin je zelo različna in sicer od nekaj decimetrov pa do cca 20 m. Sataste kamnine so rdečkastorjavo ali rjavkasto obarvane z močnimi vključki belih ali sivih bolj ali manj spremenjenih kamnin. Opraviti imamo z sedimentološko slabo preučenimi plastmi dolomitiziranega apnenca, ki je značilen za mejne nivoje med večjimi paketi apnenčevih in dolomitnih kamnin.

Dachsteinski apnenec je debelo plastnat, tu in tam neplastnat (sl. 1). Ponekod je homogen mikriten ali spariten. Zelo pogostno je razvit v obliki značilnih, ritmično ponavljajočih se loferskih sekvenc. Na erodirani podlagi leži enak sloj bazalnih breč z rjavkastim ali rdečkastim vezivom (člen A), sledi algni stromatolitni horizont (člen B) z značilnimi nadplimskimi in medplimskimi teksturami (loferit) in nato več metrov debel horizont biomikritnega apnenca (člen C) s številnimi, tudi zelo velikimi, megalodontidnimi školjkami. Petrografsko prevladujejo mikrit in biomikrit. V najvišjem delu člena C so pogostne izsušitvene pore in številne, tudi zelo velike, korozijske votlinice z meljem z geopetalno teksturo ali pa so v celoti zapolnjene s plastmi kalcita s kokardno teksturo. Kot poudarja Jurkovšek (1986) je tovrsten razvoj v Julijskih Alpah zelo pogost.

Na strmih jugozahodnih pobočjih Male Jerebice najdemo med dachsteinskim apnencem debele dolomitne vložke. Kamnina je plastnata, siva do temnosiva in zrnata. Sodimo, da gre za poznodiagenetski dolomit.

Zgornjetriasni dachsteinski apnenec z vpadom plasti od 30 – 40° proti jugozahodu gradi celoten zgornji del stene rombonskega masiva in severno pobočje

doline Možnice od Korit na zahodu do severovzhodnih ostenij Male in Velike Jerebice.

Dno doline Možnice in spodnje dele pobočij prekriva značilna ledeniška morena. V dolini Koritnice je morena vidna ob sotočju z Možnico, na pobočjih nad Kotlino tja do HE Možnica. Višje v pobočjih je ledeniška morena prekrita z različno debelimi deluvialnimi pobočnimi grušči, ki se spuščajo v dno obeh dolin po številnih močnih erozijskih žlebovih. S starostjo in sestavo moren v dolini Možnice in Koritnice se nismo ukvarjali (sl. 1).

Ozke obvodne ravnice in suhi del struge Možnice nad izviri prekrivajo slabo sortirani aluvialni prodi in peski, ki so nastali z reaktivacijo morenskega materiala.

### Tektonske razmere

Osnovno tektonsko mrežo zahodne Slovenije sta oblikovala dva velika južnoalpska preloma, Savski na severovzhodni in Idrijski na jugozahodni strani. Idrijska prelomna cona poteka po dolini Soče do Žage, seka dolino Učje in se nadaljuje v dolino Režije. Savski prelom, ki se iz gorenjske ravnine vleče po dolini Save Dolinke, se iz klasične dinarske smeri jugovzhod-severozahod začenja v zgornjesavski dolini obračati v smer vzhod-zahod. Zaradi obrata se začenja prostor med obema velikima prelomnicama ožati. To je vzrok za svojsko napetostno stanje v zahodnem delu Julijskih Alp. Posledica tega je prevladovanje nekoliko drugačnih tektonskih deformacij kot v osrednji in vzhodni Sloveniji. V Julijskih Alpah postopno izgine tektonska značilnost ostalih delov Slovenije, kjer prevladujejo prelomi dinarske smeri JV-SZ. Ti skoraj dosledno sekajo prelomne cone v prečnodinarski smeri SV-JZ. Zahodno od Triglavskega pogorja so razmere obrnjene. Začenjajo prevladovati močne prečnodinarske prelomne cone, ki največkrat sekajo prelome s smerjo severozahod-jugovzhod. Opisana tektonska mreža je lepo vidna iz geološke karte OGK list Beljak in Ponteba v merilu 1:100.000 (Jurkovšek, 1986).

Tudi na kartiranem ozemlju v dolini Koritnice in Možnice prevladujejo prečnodinarske prelomne smeri (sl. 1). Najmočnejšo prelomno cono predstavlja Možniški prelom s smerjo severovzhod-jugozahod. Sledili smo mu od zatrepnega dela pod Črnelškimi Vršiči do vzhodnih pobočij Male Jerebice. Prelomna cona se vleče dalje po dolini Koritnice mimo Loga pod Mangartom proti sedlu med Mangartom in Jalovcem. V dolini Možnice je prelomna cona po oceni široka od 200 m do 450 m. V jugozahodni smeri se razcepi v glavno prelomno cono čez Črnelške Vršiče in sosednje grebene, ter na močno minolitno cono s smerjo severozahod-jugovzhod po Koritih. V drugi smeri se Možniški prelom cepi že nekako v višini Votlega plaza in počitniškega doma v Možnici. Osrednji del poteka čez sedlo Na Kolenu proti obrobju Kotline in dalje po dolini Koritnice proti Logu pod Mangartom, južna pa do vznožja ostenij Loške stene. Na stičišču obeh prelomov so se oblikovala obsežna pobočja v milonitih povsem zdroljenega zgornjetriasnega dolomita. Najizrazitejši del ledeniške doline Možnice je torej izoblikovan v najožjem delu prelomne cone. Razmere kažejo, da je notranja prelomna cona Možniškega preloma zgrajena iz dolomitnega milonita in breče. Zunanji prelomni coni sta sicer razviti na obeh straneh, vendar je cona na jugovzhodni strani zaradi mehanskih značilnosti dolomita bistveno širša in izrazitejša.

Z jugovzhodne strani omejuje kartirani teren druga močna regionalna prelomna cona, ki so jo poimenovali Jalovski prelom. Začenja se na območju Bovške kotline, seka cele zahodne Julijske Alpe in se izteka v Tamarju. V pobočjih na levi in desni strani Koritnice loči Jalovski prelom dolomitno-apnenčev razvoj zgornjega triasa. Na njegovi severni strani ležijo dolomitni tereni, medtem ko je južno krilo iz dachsteinskega apnenca (sl. 1).

Obe močni prečnodinarski prelomni coni vežejo številni bolj ali manj izraziti subvertikalni vezni prelomi spreminjajočih smeri. Terene zahodno od vrha Rombona sekajo prelomni snopi s klasično dinarsko smerjo severozahod-jugovzhod. Ob njih so se oblikovale skoraj vertikalne severne stene Rombona. Območja med posameznimi glavnimi prelomnimi ploskvami so gosto pretrta s porušeni in razpoklinskimi conami. Severovzhodni odlomni rob vrha Rombona je oblikovan ob Bovškem prelomu (Jurkovšek, 1986). Proti severovzhodu se zvrsti še vrsta prelomov, ki se začinjajo ob Jalovškem prelomu, potekajo najprej v dinarski smeri, nato pa zavijejo proti severu (sl. 1).

Celotno območje med Rombonom in izlivom Moznice preprezajo številne sekundarne zdrobljene, porušene in razpoklinske cone (sl. 1).

Podobne tektonske razmere kot smo jih opisali na območju rombonskega masiva, opazujemo tudi na severozahodnih pobočjih doline Moznice med Črnelškimi Vršiči in Jerebico. Dachsteinski apnenci so v zgornjem delu kotline Moznice sorazmerno malo pretrti. Proti jugozahodu opazujemo stopničasto pogreznjene bloke ob manj izrazitih prelomnih smereh z enako karakteristiko kot na območju Velike in Male Kanje.

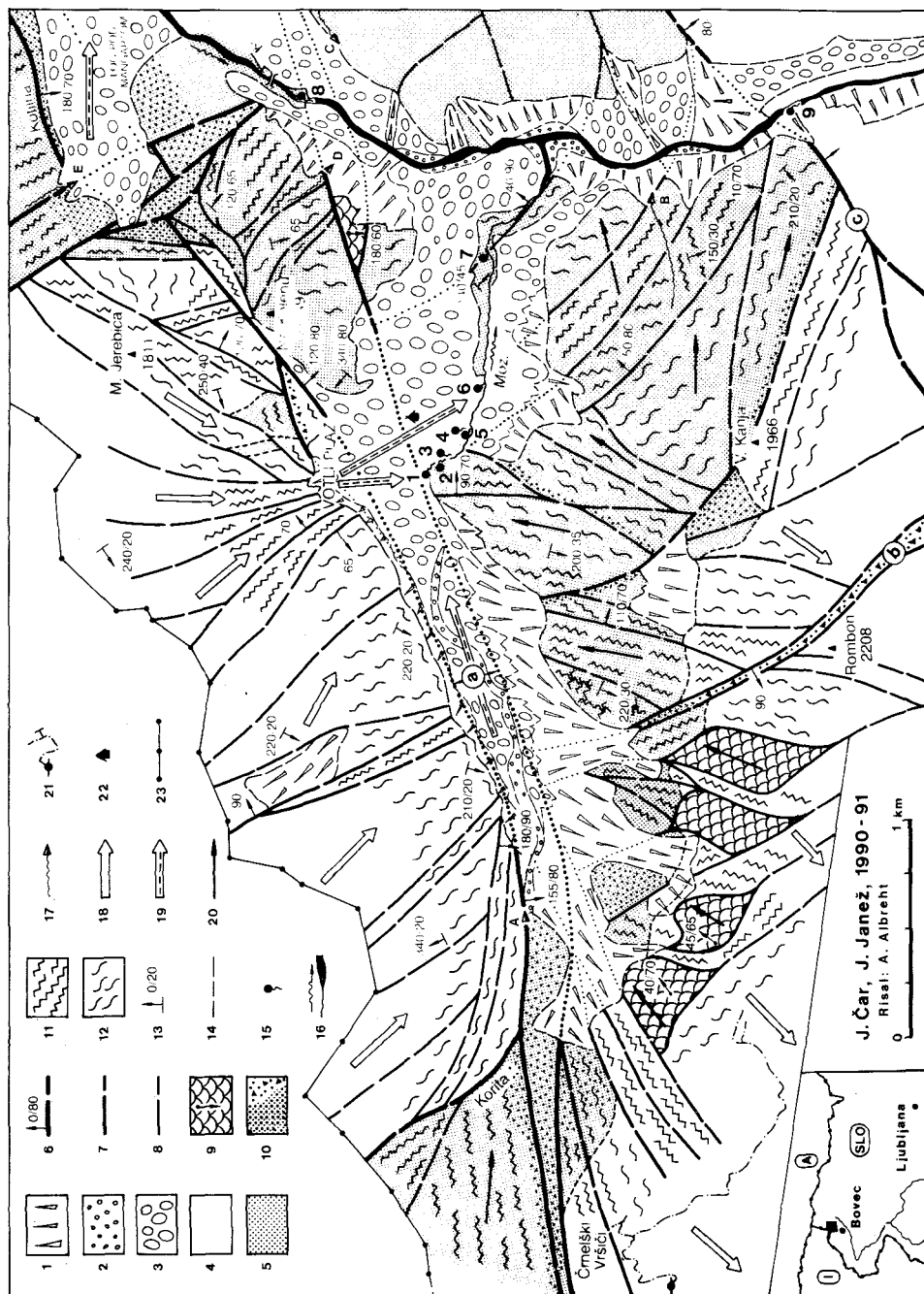
Proti severovzhodu sledi tektonsko izredno zanimivo oblikovano južno ostenje obeh Jerebic in sosednjih vrhov. Iz priložene slike 1 vidimo, da predstavlja Votla skala z meliščem Votli plaz izrazito koncentrično tektonsko vozlišče (sl. 1). Vsi prelomi iz severne in severovzhodne strani se stekajo na isto območje ob Mozniškem prelomu. Prelomnih con nismo podrobno kartirali, so pa očitno različno široke in različnih intenzitet. Gotovo pa je, da tudi tu nihajo od zdrobljenih do razpoklinskih con. Iz severovzhodne strani je tektonski vozle Votli plaz

#### Slika 1. Litološko tektonska in hidrogeološka karta

1 - pobočni grušč, ponekod delno sprijet, 2 - aluvijalni prodi in peski, 3 - morena, 4 - norijsko-retijski dachsteinski apnenec, 5 - norijsko-retijski dolomit, 6 - močan prelom s slemenitvijo in vpadom prelomne ploskve, 7 - srednje močan prelom, 8 - šibak prelom, 9 - prelomna ploskev z vpadom, 10 - zdrobljena cona, 11 - porušena cona, 12 - razpoklinska cona, 13 - slemenitev in vpad plasti, 14 - geološka meja, 15 - izvir, 16 - površinske vode, 17 - požiralnik, ponikva, 18 - predvidena smer pretakanja podzemne vode v apnencih, 19 - predvidena smer pretakanja podzemne vode v kvartarnih sedimentih, 20 - površinsko odtekanje vode, 21 - tlorisna projekcija Rombonske jame, 22 - počitniški dom v Moznici, 23 - državna meja.

#### Fig. 1. Lithologic tectonic and hydrogeological map

1 - slope debris, somewhere partly agglomerated, 2 - alluvial gravels and sands, 3 - moraine, 4 - Norian-Rhaetian Dachstein limestone, 5 - Norian-Rhaetian dolomite, 6 - strong fault with strike and dip of fault plane, 7 - medium strong fault, 8 - weak fault, 9 - fault plane with dip of strata, 10 - crushed zone, 11 - broken zone, 12 - fissured zone, 13 - strike and dip of strata, 14 - geological boundary, 15 - spring, 16 - superficial waters, 17 - swallow hole, ponor, 18 - expected direction of the underground water flow in the limestones, 19 - expected direction of the underground water flow in the Quaternary sediments, 20 - superficial water runoff, 21 - ground plan of Rombon cave, 22 - holiday hut in Moznica, 23 - state frontier.



omejen s široko in izrazito zdobljeno milonitno cono po žlebovih Lepenje v smeri severozahod–jugovzhod, ki seka Možniško prelomno cono. Ob Možniškem prelomu se po vsej dolini Možnice stikata dachsteinski apnenec in zgornjetriasni "glavni" dolomit.

## HIDROLOŠKE RAZMERE V DOLINI MOŽNICE

### Izviri Možnice

Po Koritih, v začetnem delu doline Možnice, priteče po tektonsko pretrtem dolomitu potoček in pri izhodu iz Korit ponikne (ponikva A, sl.1) v votlikave grušče in morenski nasip (sl. 1). 2. avgusta 1990 je znašal pretok nekaj več kot 1 l/s, temperatura vode pa je bila 14°C. Sto metrov pred ponikvo se potoček razcepi v dva, po izdatnosti enakovredna kraka. Pretokov ob visokih vodah ne poznamo, so pa lahko, tako kaže morfologija struge, zelo veliki. Po obilnih deževjih zaživi verjetno večina hudourniških grap (žlebov) v dolomitnih stenah zahodnega zatrepnega dela ostenja južno od Črnelških Vršičev med Malo in Veliko Kanjo. V meliščih in ledeniški moreni v dolini Možnice vode ponikajo. Ob največjih vodah pa po dolini Možnice vse od Korit navzdol očitno teče velika reka, kar dokazuje široka in "živa" prodnata struga s številnimi prodnimi vršaji sredi ledeniške doline (sl. 1).

Stalni izviri reke Možnice so šele na višini 740 m v bližini počitniškega doma. Tam se naravno oblikovani strugi iz smeri Korit pridruži običajno suha, hudourniška struga iz Votlega plaza. Grapi sta bili brez površinske vode tudi ob ogledu 6. novembra 1990, tri dni po močnem deževju, ki je drugod po Sloveniji povzročilo velike poplave. Podzemne vode se zlivajo na površje sredi hudourniških balvanov, malo nad stičiščem obeh strug, predvsem v strugi iz smeri Votlega plaza. Navzdol teče reka ponekod po morenskih blokih, ponekod pa izpod morene pogleda tudi kamnina iz podlage – zgornjetriasni dolomit. Na teh odsekih so nastala slikovita korita.

Pod prvim, najizdatnejšim izvirom Možnice izteka voda iz ledeniške morene na številnih mestih v različno močnih izviri. Celotno izvirno območje je dolgo okoli sto petdeset metrov, najnižji izviri so na nadmorski višini 720 m. Izvirno območje smo razdelili v dva dela. Zgornje izvirno območje (poimenovali smo ga Možnica 1) vključuje glavni izvir in nižje izvire na levem bregu struge do višine 740 m, izvirno območje Možnica 3 pa nižje ležeče izvire med 720 in 740 m nadmorske višine (sl. 1). Delitev je nastala zaradi položaja izvirov. Izvirno območje Možnica 1 je dostopno po pešpoti z makadamske ceste, medtem ko so nižjeležeči izviri dostopni samo od spodaj po strugi Možnice. Geološki in hidrogeološki položaj in značaj (tip) obeh izvirnih območij pa je enak – gre za gravitacijsko iztekanje podzemne vode iz morene. Iztekanje je raztreseno na veliko dolžino, najverjetneje samo zaradi značaja poroznosti ledeniške morene. Dokumentirane ocene pretoka izvirov Možnica 1 se gibljejo med 80 (Tomšič, 1986) in 500 l/s (Čar, Janež, 1991). Podatek za 50 l/s (Strokovna služba ZVSS, 1978) ni preverjen.

Na izvirnem območju Možnica 3 je 3. avgusta 1990 na šestih mestih iztekalo 25 l/s vode – to je ena petina količine izvira Možnica 1.

V višini izvirnega območja Možnica 1 so izviri tudi na desnem bregu struge. Označili smo jih kot izvirno območje Možnica 2 (sl. 1). Gre za kraške izvire

iz razpok v dolomitni skali. Vsi so nekaj metrov nad strugo Možnice in voda izteka v majhnih koncentriranih slapovih ali kot široko solzenje po steni. 3.8.1990 in 5.9.1991 smo deloma merili, deloma ocenili skupno izdatnost izvirov Možnica 2 na 25 l/s, kar je 10 % skupnega pretoka vseh izvirov Možnice ob nizkih vodah. 6.11.1990 ob visokem vodostaju je pretok izvirov Možnica 2 znašal 70 do 80 l/s, kar je prav tako predstavljalo okoli 10% skupne količine vseh izvirov Možnice.

Izvir Možnica 4 (s pretokom 1 do 3 l/s ob nizkih vodah) in Možnica 5 (1,5 do 2 l/s ob nizkih vodah) sta manjša. Ležita nekoliko stran od glavnih izvirov Možnice, sta pa najbrž le nekoliko ločena iztoka istega podzemnega toka kraške vode (sl. 1).

Izvirno območje Možnica 6 leži na nadmorski višini 670 m, na levem bregu struge Možnice (sl. 1). Do izvirnega območja pridemo po gozdni cesti, ki se odcepi od ceste k počitniškemu domu v Možnici. Dolina Možnice je v tem delu precej razširjena, posebej na desnem bregu so obsežna, manj strma območja, pokrita s pobočnimi grušči. Skupni pretok izvirnega območja Možnica 6 smo poleti 3.8.1990 ocenili na 50 l/s (delno merjeno, delno ocenjeno), 5.9. 1991 med 45 in 50 l/s, 6.11.1990 ob visokih vodah pa na 100 l/s.

V spodnjem delu Možnice, nekaj več kot pol kilometra severozahodno od so-točja Koritnice leži na levem bregu izvir Možnica 7 (sl. 1). Izvir je kraški, iz razpok in lezik v zgornjetriasnem dolomitu v soteski, kjer dela Možnica "S" zavoj. Do izvira pridemo peš po grapi navzdol s ceste ali bližnjih travnikov. Pod izvirom so praktično neprehodna korita. 3. avgusta 1990 je bil delno izmerjen in delno ocenjen pretok izvira 22 l/s, 5.septembra 1991 pa na 30 l/s.

Tabela 1: Pretoki vseh izvirov Možnice (l/s)

Tab. 1: Discharge of Možnica springs (l/s)

Datum/Date	Izvir št./Spring No.						Skupaj/Total	
	1	2	3	4	5	6	7	
3.08.90	130	25	25	3	2	50	22	257
6.11.90	500	70-80	-	-	-	100	-	700
5.09.91	115	25	26	1	1,5	45-50	30	250

Dolino Možnice smo kartirali v celoti in drugih izvirov, razen opisanih, v njej ni. Izjema so lahko samo nekatera krajša območja korit reke Možnice, ki so brez posebne opreme neprehodna. Najmanjši do sedaj izmerjeni skupni pretok vseh izvirov Možnice je okoli 250 l/s. Maksimalnih pretokov ne poznamo - gotovo so vsaj desetkrat, če ne tudi stokrat večji.

Med izviri ob strugi Koritnice omenimo izvirno območje pri HE Možnica (št. 8). Leži okoli 100 m gorvodno nad hidroelektrarno Možnica, na levi strani Koritnice, pred izhodom iz njenih korit. Izvirno območje je široko trideset do štirideset metrov in ga sestavlja več izvirov. Nekateri najnižji so že ujeti v izpuste iz obrežnega zidu pri hidroelektrarni. Najvišji izvir je zajet za oskrbo bližnjih hiš. 2. avgusta 1990 smo ocenili pretok izvirnega območja na 12 do 15 l/s.

Pred vstopom Koritnice v korita pri Klužah izvira na njenem desnem bregu srednje močan izvir (št. 9). Voda priteka izpod podornih blokov v dnu velikega vršaja, kjer izteka na širini 30 m v manjših ločenih studenih. Ob visoki vodi

je izvir verjetno poplavljen. 6.9.1991 je imela voda izvira temperaturo 6,3 °C, pretok pa smo ocenili na 25 l/s.

### Ponikalnice

Poleg že prej opisane ponikalnice v Koritih (A) se pojavlja še nekaj ponikalnic v dolini Koritnice. Na sliki 1 so označene z B, C, D, E. Površinske vode se zbirajo na tektonsko močno zdrobljenem dolomitu in ponikajo v debelo naložene močno porozne pobočne gruše ali v moreno ter se izlivajo v Koritnico. Večjega hidrogeološkega pomena nimajo, razen morda ponikalnice v Kotlini, kjer na stiku zgornjetriasnega dolomita in kvartarnega morenskega nanosa ponika ob nizkih vodostajih med 25 in 30 l/s vode.

Tabela 2: Ponikalnice

Tab. 2: Sinking streams

Oznaka Label	Lokacija Location	Datum Date	Pretok Discharge
A	Korita	3.8.1990	1 - 2 l/s
B	Mala Kanja	4.8.1990	3 l/s
C	Nad HE Možnica	4.8.1990	-
D	Pod cesto Log-Možnica	4.8.1990	0,2 (oc.)
E	Kotlina	6.9.1990	25 - 30 l/s

### BAKTERIOLOŠKE IN FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI IZVIROV MOŽNICE

#### Bakteriološke lastnosti

Leta 1989 smo bakteriološko analizirali izvir Možnica 1. Analize je izdelal Zavod za socialno medicino in higieno iz Nove Gorice. Prvi odvzeti vzorec 11. avgusta 1989, je bil bakteriološko oporečen - vseboval je koliformne bakterije fekalnega izvora. Pri ponovnem vzorčevanju 17. oktobra 1989 je bila voda neoporečna. 6. novembra 1990 smo ob visokem vodostaju vzorčevali izvire Možnica 1, 2 in 6. Vsi vzorci so imeli izredno ugodno bakteriološko sliko. V letu 1991

Tabela 3: Bakteriološke analize izvirov Možnica

Tab. 3: Bacteriological analyses of the Možnica springs

	Možnica 1	Možnica 2	Možnica 6	Možnica 7
11.08.89	1*			
17.10.89	0			
06.11.90	0	0	0	
06.09.91	0	1*	0	0

0 - neoporečen vzorec / suitable bacteriological sample

1 - oporečen vzorec / unsuitable bacteriological sample

\* - koliformne bakterije fekalnega izvora / faecal bacteria

(6.septembra 1991) smo vzorčevali izvire Moznica 1, 2, 6 in 7, – oporečen je bil izvir Moznica 2 z desnega brega.

Oporečnosti izvira Moznica 1 v vzorcu odvzetem 11. avgusta 1989 ne moremo razlagati enoznačno. Možno je, da gre za vpliv fekalnih odplak počitniškega doma Moznica v poletnih mesecih, lahko pa so vzroki tudi druge (naravna onesnaženost, napaka pri vzorčevanju ali analizi, ipd.). Podobno je z vzorcem izvira Moznica 2, odvzetim 6.9.1991, kjer je umetno onesnaženje skoraj zanesljivo izključeno.

Vsekakor velja, da so izviri še zelo čisti, da pa je onesnaževanju s počitniškega doma, kjer odpadne vode zanesljivo pronicajo v morene v podlagi ter od tam proti izvirom, potrebno posvetiti resno pozornost. Varstvo izvirov Moznice se bo dodatno zapletlo, če bodo v naslednjih letih ugotovljene in neposredneje dokazane povezave z vodami Jezerske doline v Italiji.

#### Fizikalno-kemične lastnosti

Dosedanje meritve temperature izvira Moznica 1 (8 podatkov) so v razponu od 3,7°C do 6,2°C. Meritev je premalo za trdnjše sklepe o temperaturnem režimu izvira, ki pa je verjetno podoben režimu sosednjih izvirov v alpskem krasu in odvisen od številnih faktorjev (temperatur zraka, razporeditve padavin, pretoka, debeline in trajanja snežne odeje, idr.).

Tabela 4: Meritve temperature izvira Moznica 1

Tab. 4: Temperature of the spring Moznica 1

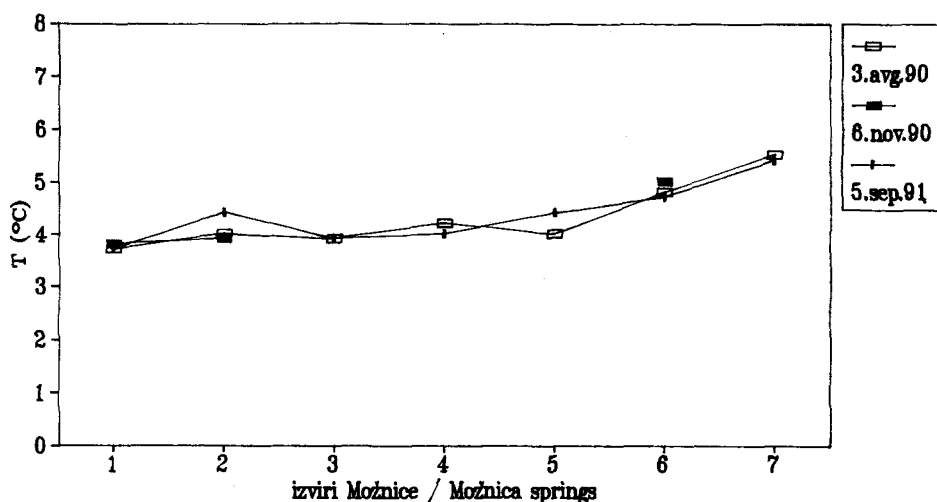
Datum/Date	°C	
12. 1.1989	5,3	(Habič, Čar, 1989)
10. 2.1989	4,7	- " -
27. 4.1989	6,2	- " -
31. 7.1989	4,3	
11. 8.1989	5,5	
17.10.1989	5,5	
3. 8.1990	3,7	Tmin 3,7
6.11.1990	3,8	Tmax 6,2
5. 9.1991	3,7	Tsr 4,7

Istočasne meritve temperature na vseh izvirih Moznice kažejo postopno naraščanje temperature od najvišjega, glavnega izvira Moznice navzdol (tab. 5, sl. 2).

Naraščanje temperature vode od izvira Moznica 1 proti izviru Moznica 7 potrjuje hidrogeološki značaj iztekanja vode iz kraškega vodonosnika in ledeniške morene. Izvir Moznica 1 predstavlja glavni koncentrirani iztok kraške podzemne vode in je poleti in jeseni najhladnejši. Bolj ko se od njega oddaljujemo, daljšo pot ima voda skozi moreno in bolj se segreje. V zimskem času, ko so temperature zraka nižje od temperature vode, bi morala biti razporeditev temperatur obrnjena.

Izvir Moznica 2 na desnem bregu struge ima nekoliko višjo temperaturo kot izvir Moznica 1, kar bi lahko kazalo na nekoliko ločeno podzemno pretakanje in potrjevalo domneve o ločenem vodozbirnem zaledju.





Slika 2. Temperatura izvirov Možnice

Fig. 2. Temperatures of the Moznica springs

Tabela 5: Temperatura izvirov Možnice

Tab. 5: Temperature of the Moznica springs

		Datum/Date		
Izvir Spring		3.8.1990	6.11.1990	5.9.1991
Možnica	1	3,7	3,8	3,7
	2	4,0	3,9	4,4
	3	3,9		3,9
	4	4,2		4,0
	5	4,0		4,4
	6	4,7 - 4,9	5,0	4,5-4,9
	7	5,5		5,4

Skupna trdota izvira Možnica 1 se giblje v razponu od 5,3°NT do 6,4°NT, podobno kot pri drugih velikih kraških izviri na Tolminskem. Nekarbonatne trdote je malo. Kalcija je med 31,4 in 34,2 mg/l, magnezija pa med 4,3 in 7,0 mg/l. Parameter rMg/rCa (v meq) se giblje od 0,22 do 0,33 (sl. 3).

Izvir na desnem bregu (Možnica 2) v kemični sliki nima značilnih razlik (skupna trdota med 5,7 in 6,0°NT, kalcij 32,9 mg/l, magnezij 4,8 do 6,1 mg/l, parameter rMg/rCa med 0,24 in 0,30) (sl. 3).

Izvir Možnica 6 ima nekoliko večjo skupno trdoto med 6,0 in 7,3°NT. Kalcija je 32,9 do 37,1 mg/l in magnezija med 6,1 in 9,6 mg/l. Višja vrednost parametra rMg/rCa (med 0,31 in 0,43), kaže na večji delež pretakanja skozi dolomitne kamnine (dolomit, dolomitni grušč), kar ustreza geološki zgradbi zaledja.

Vsi izviri Možnice imajo vodo magnezij-kalcijevo-hidrokarbonatnega faciesa.

Pokazatelji organskega onesnaževanja vode (amoniak, nitriti, nitrati, poraba  $\text{KMnO}_4$ , tudi kloridi in sulfati) imajo ugodne, zelo nizke vrednosti. Amoniak je v vseh vzorcih določen pod 0,02 mg N/l, nitriti pa pod 0,002 mg N/l. Koncentracije nitratov so v razponu od 0,24 do 0,77 mg N/l, kloridov od 1,5 do 2,4 mg/l in sulfatov med 0,3 in 1,6 mg/l. Poraba  $\text{KMnO}_4$  se giblje med 3,5 in 4,9 mg/l.

## **VPLIV STRUKTURNIH GEOLOŠKIH ELEMENTOV NA HIDROGEOLOŠKE RAZMERE V DOLINAH MOŽNICE IN KORITNICE**

Problem velike izdatnosti izvirov v dolini Možnice je bil izpostavljen že v študiji "Strokovne podloge za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog za zaščito: zaledja izvirov Boke, Bočiča in Glijuna, povirij Koritnice, Tolminke, Zadlaščice" (Habič, Čar, 1989). Avtorja sta ocenjevala, da bi bilo glede na izdatnost izvirov v Možnici potrebno okrog 50  $\text{km}^2$  zaledja. Po orografskem razvodu pripada Možnici le dobrih 10  $\text{km}^2$  zaledja. Avtorja študije sta takrat domnevala, da priteka v Možnico tudi nekaj vode iz vzhodnega dela Kaninskega pogorja, posebno še, ker pod Rombonom tako na možniški kot tudi bovški strani ni nobenega večjega kraškega izvira. Novo geološko kartiranje kaže na povsem drugačno hidrološko razlago možniških izvirov.

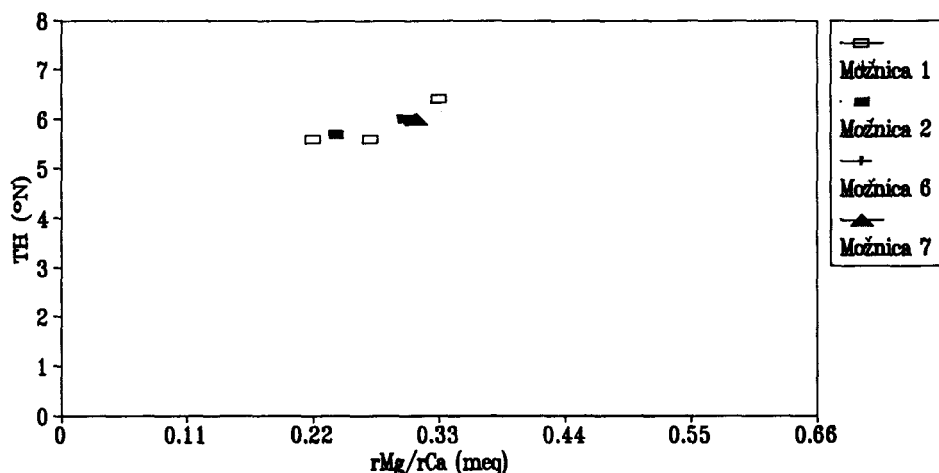
Normalen litološki kontakt med zgornjetriasnim dachsteinskim apnencem in norijsko-retijskim dolomitom vpada na celotnem območju od doline Koritnice do zatrepa doline Možnice za 30° do 35° proti jugojugozahodu, torej v pobočje rombonskega masiva (sl. 1). Dolomit je že sam po sebi bistveno slabše prepustna kamnina kot apnenec. Poleg tega je na celotnem obravnavanem terenu izredno močno tektonsko pretrt. V ožji prelomni coni Možniškega preloma je dolomit spremenjen v milonit in brečo, ki je razgaljena med sedlom Na Kolenu in vzhodno od tod. Na južnih pobočjih doline Možnice so dolomitne kamnine zdrobljene v porušene cone (sl. 1). Z zanesljivostjo torej lahko zapišemo, da ima kontakt dolomit-apnenec značilnosti hidrološke pregrade, tako da se voda apnenčastega rombonskega masiva v pretežni meri odceja proti jugozahodu in jugu. Flišni kontakt v Bovški kotlini pod Rombonom naj bi bil po sedanji interpretaciji naravnega značaja. Ob taki geološki strukturi bi pričakovali močne izvire. Teh pa ni. Zato domnevamo, da so stiki krednega fliša z dachsteinskim in jurskim apnencem v dobršni meri subvertikalni in so vezani na prelomno cono Jalovškega ali njemu vzporednih prelomov. To domnevo bo potrebno potrditi z nadaljnjim kartiranjem.

Glede na opisano interpretacijo menimo, da večina vode iz rombonskega masiva priteka na dan v izviru Glijun.

Zaradi neprepustnosti tektonsko močno pretrtih dolomitov na južnih pobočjih nad dolino Možnice je očitno, da se ob deževju večina vode steka po številnih erozijskih žlebovih neposredno v pobočni grušč in moreno. Seveda pa to ne predstavlja večjih in pomembnejših vodnih zalog, pač pa le manjši, časovno kratek prispevek v deževnem obdobju. Izvir Možnica 2, ki se nahaja v dolomitni steni nasproti glavnega možniškega izvira (Možnica 1) se napaja iz razpoklinsko-porušenih con delno dolomitiziranih kamnin ob vznožju Rombona (sl. 1).

Z opisano interpretacijo ostajajo močni možniški izviri na videz še težje razločljivi. Iz strukturno geoloških razmer sklepamo, da priteka voda koncentri-

rano iz apnenčevih kamnin na območju Votlega plazu. Po bolj ali manj izrazitih, z moreno prekritih vodnih strugah se nato razteka proti izvirom (Možnica 1, 3, 4, 5 in 6; sl. 1). Povsem neprepustna več sto metrov široka milonitna cona Možniškega preloma in značaj koncentričnega tektonskega vozla Votli plaz prepričljivo govorita v prid tej interpretaciji. Voda priteka skozi porušene in razpoklinske cone v zgornjetriasnem apnencu iz severnih pobočij doline Možnice, predvsem pa iz italijanskih pobočij Jezerske doline in morda celo reke Ziljice. Domnevo potrjujeta višinska razlika med Jezersko dolino (okoli 950 m) in Možnico (okoli 850 m) ter absolutno najnižja lega Votlega plaz ob hidrološki pregraji milonitne cone Možniškega preloma. Tudi kemične analize izvirov Možnice (trdota, parameter  $rMg/rCa$ ) kažejo, da gradi njihovo zaledje predvsem apnenec (sl. 3).



Slika 3. Izviri Možnice - primerjava med skupno trdoto in parametrom  $rMg/rCa$  (v meq)

Fig. 3. Možnica springs - comparison between the total hardness and the parameter  $rMg/rCa$  (in meq)

Izvir v koritih Možnice (Možnica 7) dobi vodo iz pretrtega zgornjetriasnega dolomita iz pobočij vzhodno od Votlega plaz.

V dolini Koritnice med hidroelektrarno Možnica in Klužami je omembe vreden samo izvir št. 9, ki pa s 25 l/s nizkega pretoka vseeno nima regionalnih dimenzij in po vsej verjetnosti samo lokalno zaledje, neprimerljivo z zaledjem Možnice ali Gljuna. Kam odteka voda iz apnenčevih terenov med Rombonom in koriti Koritnice od Kluž navzgor pa bo potrebno še raziskati.

## LITERATURA

Čar, J., Janež, J., 1991: Hidrogeološke raziskave Možnice, I. faza. Tipkano poročilo. Št. pr. 123/91. Rudnik živega srebra Idrija.

- Habič, P., Čar, J., 1989: Strokovne podloge za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog za zaščito zaledja izvirov Boke, Bočiča in Glijuna, povirij Koritnice, Tolminke in Zadlaščice. Tipkopisna študija, 37 str., 3 sl., 2 tab., 4 pril. Arhiv RŽS Idrija, št. pr. 84/89.
- Jurkovšek, B., 1986: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, lista Beljak in Ponteba (L33-51, L33-52). Zv. geol. zavod Beograd.
- Jurkovšek, B., 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tolmač listov Beljak in Ponteba (L33-51, L33-52). Zv. geol. zavod Beograd.
- Strokovna služba ZVSS, 1978: Vodnogospodarske osnove Slovenije. Zveza vodnih skupnosti Slovenije. Ljubljana.
- Tomšič, M., 1986: Analiza današnjega stanja vodne oskrbe v SR Sloveniji in kataster izvirov in objektov za preskrbo s pitno vodo. 07-054 občina Tolmin. Tipkano poročilo. Vodnogospodarski inštitut Ljubljana.

## **STRUCTURAL-GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AT THE MOŽNICA SPRINGS**

### **Summary**

#### **PROBLEMATICS**

In the Možnica valley by hydrogeological investigations aided by detailed lithological tectonical mapping, hydrogeological mapping and chemical analyses we have explained the problematics in the hinterland of the Možnica spring and evidenced the eventual possibilities for gravitational water supply of Bovec. The results are amazing as they show essentially different hydrogeological conditions as they were thought to be till now.

#### **MOŽNICA AND THE LOWER PART OF KORITNICA GEOLOGY (Fig. 1)**

Morphologically extremely stirred up terrain in the Možnica valley and in lower course of Koritnica is built by three lithological varieties of the Upper Triassic age and by the moraine sediments with slope rubbles and aluvial deposits. The southern slopes of the Možnica valley, the right bank of the Koritnica and the eastern foot of Mala Jerebica (1811 m) are built by Norian Rhaetian dolomite. The rock is medium to thick bedded and dips from 50° to 25° southwestwards. The dolomite is covered by the Upper Triassic Dachstein limestone. On the normal superpositional limit between both lithological levels the horizon of strongly altered combed rocks lies. Dachstein limestone bedding is poor, somewhere the beds dip from 20° to 30° southwestwards. Frequently it developed in characteristic rhythmically repeated Lofer sequences. On the southern slope of Mala Jerebica the Upper Triassic limestone is here and there dolomitized. The Dachstein limestone builds the upper part of the walls of the Rombon massif and the entire northern slope of Možnica valley.

The bottom of Možnica valley and lower parts of the slopes are covered by characteristic glacial moraine, while the narrow plains along the water and

the dry parts of the Možnica river bed above the springs are covered by badly sorted aluvial gravel and sand.

The strongest fault zone of the treated terrain is Možnica fault directed northeast-southwest. We followed it from Črnelški Vršič on the south west to the north eastern slopes of Mala Jerebica where on the contact with strong dinaric fault zone extremely thick dolomitic millonitic zones developed. The treated area is bordered on the southeastern side by regional transverse dinaric Jalovec fault (Jurkovšek, 1986). Možnica and Jalovec fault zones are connected by numerous more or less expressive subvertical connecting faults of diverse directions. Along them almost vertical northern wall of Rombon rises. The entire explored area from Črnelški Vršič to Možnica outfall is traversed by numerous secondary crushed, broken and fissured zones.

Tectonic setting of Votli plaz is important for the explanation of hydrogeological properties of the springs in Možnica valley in particular. The area is typical concentric tectonic crossing. The fault zones of various intensities contact on the same area along the Možnica fault.

#### HYDROLOGICAL CONDITIONS IN MOŽNICA VALLEY, BACTERIOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE MOŽNICA SPRING (Figs. 1, 2 and 3)

Permanent springs of Možnica river are situated on about 740 m a.s.l. The groundwaters rise to the surface from the left bank mostly - from the direction of Votli plaz. They appear out of glacial moraine on several places in the length of 500 m. On the annexed map (Fig. 1) they are marked by the numbers 1, 3, 4 and 5.

In the altitude of the spring area Možnica 1 the springs are found on the right bank of the riverbed too. These are karst springs from the fissures in the dolomite from the Rombon direction.

In lower part of Možnica, a little more than a half of kilometer northwestwards from the confluence with Koritnica, on the left bank the spring Možnica 7 lies. It is situated amidst the savage and picturesque evorsion channels and the water flows from fissures and bedplanes in the Upper Triassic dolomite.

The smallest till now stated discharge of all the seven Možnica springs was about 250 l/s. Maximal discharges are not known - surely they are ten times if not hundred times bigger (Table 1).

Besides the springs some swallow holes were found in the Možnica valley. The data are gathered on the Table 2.

Bacteriologically the Možnica springs were analysed four times (Table 3). General bacteriological situation is very favourable. Periodical presence of faecal bacteria is connected with the alpine hut which is built of the permeable moraine in the direct spring background.

Simultaneous measurements of the temperatures on all Možnica springs show the tendency of temperature increase from the highest, the main spring of Možnica towards the Možnica 6 springs (Tables 4 and 5; Fig. 2). Established conditions confirm the hydrogeological character of water outflow from the karst aquifer of the glacial moraine. The spring of Možnica 1 is the main concentrated outflow of the karst underground water and is the coolest in

summer and autumn. Bigger the distance from it longer the way for the water through the moraine and more it is warmed up.

All the Možnica springs waters are of magnesium-calcium-hydrocarbonate facies (total hardness between 5,3 and 7,4° NT (german hardness grades), calcium between 31,4 and 37,1 mg/l, magnesium between 4,3 and 9,6 mg/l, parameter rMg/rCa (meq) between 0,22 and 0,43).

Organic water pollution is within favourable, very low values.

#### THE INFLUENCE OF STRUCTURAL GEOLOGICAL ELEMENTS UPON HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE MOŽNICA AND KORITNICA VALLEYS

The problematics of springs in the Možnica valley and in its hinterland yielding have been treated in a special study by Habič and Čar (1989). The authors estimated that regarding the water quantity about 50 km<sup>2</sup> of catchment area are required. According to orographic watershed a good 10 km<sup>2</sup> of hinterland belong to Možnica only. The authors of the study supposed that some waters from the eastern part of the Kanin Mts. are flowing into Možnica. The recent geological mapping evidences quite different hydrological explanation of the Možnica springs.

Normal lithological contact between the Upper Triassic Dachstein limestone and Norian-Rhaetian dolomite dips of the entire area from the Koritnica valley to the Možnica spring head alcove for 30° to 35° towards south-south-west, it means into the area of the Rombon massif. The dolomite by itself is essentially less permeable rock than the limestone. In addition, the entire treated terrain is strongly tectonically crushed. In narrow fault zone of Možnica fault dolomite is altered to millonite and breccias which are exposed between the pass Na Korenu and towards the east from there. On the southern slopes of the Možnica valley dolomitic rocks are crushed into broken zones. We can ascertain that the contact limestone-dolomite presents a hydrological barrier and thus the water from the limestone Rombon massif in an essential part outflows towards southwest and south. Flysch contact in the Bovec valley below Rombon Mt. should have according to actual interpretation over-thrust character. With such geologic setting one would expect strong springs. But they do not exist. Therefore we suppose that the contacts of the Cretaceous flysch with the Dachstein and Jurassic limestones are in good deal subvertical and connected to fault zone of Jalovec and related parallel faults. This supposition should be confirmed by further mapping.

According to the described interpretation we think that most of the waters from the Rombon massif appear in the Glijun spring.

Due to impermeability of tectonically strongly crushed dolomites on the southern slopes above the Možnica valley it is obvious that during the rains most of the water flows by numerous erosion gulches directly into slope debris and moraine. It is clear that this water does not present important storage of water but a short, temporally limited contribution in the rain period. The spring Možnica 2, lying in the dolomitic wall opposite to the main Možnica 1 spring is fed by fissure-broken zones of partly dolomitized rocks at the foot of Rombon (Fig. 1).

By the described interpretation the Možnica springs remain apparently still more difficult to be explained. By structural geological conditions one could infer that water comes concentrated from the limestone rocks of the Votli plaz area. According to more or less expressive, with moraine covered river beds it later spreads towards the springs (Možnica 1, 3, 4, 5 and 6). Entirely impermeable more than hundred metres wide millonitic zone of the Možnica fault and the character of the concentric tectonic knot Votli plaz persuasively speak on behalf of this interpretation. The water flows through the broken and fissured zones in the Upper Triassic limestone from the northern slopes of Možnica valley and in particular from the Italian slopes of Jezerska dolina and maybe from Ziljica river even. The supposition is confirmed by the altitude difference between the Jezerska dolina (about 950 m ) and Možnica (about 850 m) and the absolute the lowest position of Votli plaz along the hydrologic barrier of the millonitic zone of the Možnica fault. The chemical analyses of Možnica springs (hardness, parameter  $rMg/rCa$ ) as well, show that their background is built by the limestones mostly.

**GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI PISANEGA ROVA  
POSTOJNSKE JAME**

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PISANI ROV IN  
POSTOJNA CAVE

STANKA ŠEBELA



**Izvleček**

UDK 551.442(497.12 Postojna)

**Šebela, Stanka: Geološke značilnosti Pisanega rova Postojnske jame**

V Pisanem rovu Postojnske jame je ohranjenih več razvojnih faz. Nakazujejo jih fluvialni jamski sedimenti, različne generacije sig ter bolj ali manj ohranjeni podori. Turonijski skladi apnenca ( $K_2^2$ ) so tektonsko prelomljeni v več smereh, od katerih prevladujejo smeri N-S, medtem ko so pogoste smeri NW-SE in SW-NE. Glede na današnjo obliko jamskih prostorov Pisanega rova ločimo odseke, ki potekajo po tektonsko pretrtih conah, v katerih so vidne sledi vodnega toka (A), odseke oblikovane ob lezikah (B), podore v tektonskih conah (C) in podore po lezikah (D). V Pisanem rovu so podorni rovi (C in D) najmlajši, predeli s sledovi vodnega toka pa najstarejši.

Ključne besede: geologija, Postojnska jama, Pisani rov, tektonika, tektonsko pretrte cone.

**Abstract**

UDC 551.442(497.12 Postojna)

**Šebela, Stanka: Geological characteristics of Pisani rov in Postojna cave**

In Pisani rov of Postojna cave more evolutionary phases are preserved. They are evidenced by fluvial cave sediments, different generations of flowstone and more or less preserved breakdowns. Turonian limestone ( $K_2^2$ ) is tectonically broken in different directions of which those of N-W are the most common and NW-SE and SW-NE directions are more common. Concerning the present shape of the cave passages in Pisani rov we distinguish the sections passing according to tectonic crushed zones where the trace of water flow is visible (A), the sections formed along the bedplanes (B), the breakdowns in the tectonic zones (C) and the breakdowns in the bedplanes (D). In Pisani rov breakdown chambers (C and D) are the youngest, sections with traces of water flow are the oldest.

Key words: geology, Postojna cave, Pisani rov, tectonics, tectonic crushed zones.

**Naslov - Address**

Mag. Stanka Šebela, dipl.ing.geol.  
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU  
66230 Postojna, Titov trg 2  
Slovenija

## UVOD

Pisani rov, z 920 m dolžine, predstavlja le majhen del Postojnskega jamskega sistema (kat.št. 747) katerega skupna dolžina je 19555 m (KATASTER JAM). Čeprav ni odprt za redne turistične obiske, je zaradi bogatih raznobarnih sigastih oblik izredno zanimiv in upravičeno nosi ime Pisani rov. Kljub bogatemu kapniškemu okrasju je v rovu možno podrobno geološko kartiranje. Z geološkimi, tektonskimi in litološkimi, strukturnimi elementi smo skušali ugotoviti predispozicije za oblikovanje in razvoj rova.

Študij odvisnosti jamskih rogov od geoloških strukturnih prvin privlači mnoge krasoslovce. Jamske rove oblikuje voda v skladu s hidrološkimi zakonitostmi, izbira pa zanjo najugodnejše poti v kamnini, ki jih predstavlja nepravilnost, kot so razpoke in prelomi ter lezike oziroma druge litološke posebnosti.

V ameriški literaturi posvečajo več pozornosti razvoju jamskih rogov po plasteh, pri nas pa so bolj v ospredju tektonske značilnosti, kar je seveda v skladu z razlikami v zgradbi. PALMER (1991) je zbral in obdelal podatke iz 500 ameriških jam v karbonatnih kamninah, predvsem v apnencih. Iz celotne dolžine rogov je ugotovil, da jih 57 % poteka po plasteh, 42 % po razpokah in samo 1 % po medzrnskih porah. Jamski rovi med plastmi so vijugastih oblik. Z raztapljanjem povečane razpoke in prelomi z velikimi koti ustvarjajo jamske rove po razpokah z lečastimi prečnimi prerezi in oglatimi-koničastimi prerezi.

Podatki PALMERJA (1991) seveda veljajo za severno Ameriko, kjer so plasti bolj vodoravne in manj tektonsko razlomljene. Jamski rovi so zato drugače oblikovani kot v goratem alpskem in dinarskem krasu. Glede na močno tektonsko pretrto je odstotek rogov ob razpokah in prelomih prav gotovo znatno večji. To so potrdile tudi razmere v Pisanem rovu.

## PROBLEMATIKA

Prenešana metoda podrobnega kartiranja v merilu 1:5000 s površinskih terenov (ČAR, 1982,1986; ČAR & GOSPODARIČ, 1984) na kartiranje kraških jam v merilu 1:1000 (ŠEBELA & ČAR, 1991) je dala zelo dobre rezultate. V tem članku predstavljam še podrobnejše kartiranje jamskih prostorov v merilu 1:500. Poleg tektonskih značilnosti samega rova ter njegove odvisnosti od vrste tektonskih con sem kartirala tudi smer in vpad plasti ter navezanost odvisnosti rova na lezike.

Ob geološkem kartiranju sem opazovala tudi morfološke značilnosti rova. Posamezne predele rova sem razdelila v štiri tipe. Po obliki značilnega prečnega profila uvrščam v tip A predele, ki potekajo skladno s tektonsko pretrto cono in v katerih še vedno najdemo sledi vodnega toka (npr. fasete ali stropne

kotlice). V tip B uvrščam predele rova, ki potekajo skladno z lezikami in so v njih vidni sledovi vodnega toka. V tip C in D sem uvrstila podorne dele rova, in sicer je v C uvrščen podor po tektonsko pretrti coni in v D podor po leziki. V teh dveh primerih v rovu ni sledov vodnega toka.

### DOSEDANJE RAZISKAVE PISANEGA ROVA

Pisani rov je geološko raziskoval GOSPODARIČ. V začetnih raziskavah (1963) je obdelal geološko-morfološke značilnosti rova, sedimente v njem in podiranje kapnikov. Po njegovih ugotovitvah Pisani rov ne poteka ob prelomih. Smer in obliko mu nakazujejo lezike in razpoke pretežno v smeri sever-jug. Tako je usmerjen ves Pisani rov. Od te smeri odstopa le tam, kjer si je voda izsilila prehod prečno na smer plasti. Čemu je prebijala to težjo pot GOSPODARIČ (1963) ni pojasnil. Ugotovil pa je, da smer in oblika Pisanega rova ni v skladu z WAGNERJEVO (1954) in MICHLERJEVO (1959/60) trditvijo, da so rovi Postojnske jame nastali vzdolž razpok SW-NE in vzdolž prelomov smeri SSW-NNE in NW-SE.

Skozi Pisani rov je v geološki preteklosti Postojnske jame odtekala Pivka proti Planinskemu polju (GOSPODARIČ, 1963). Pri nadaljnjem geološkem preučevanju Postojnskega krasa in njegove okolice je GOSPODARIČ (1964;1968;1969) natančneje kartiral litostratigrafske člene na površju in v podzemlju. Ugotovil je nagubano zgradbo in opozoril zlasti na Postojnsko antiklinalo ter prelome in razpoke, ki jo križajo. Z geološko zgradbo je skušal pojasniti le nekatere mlajše oblike in smeri podzemeljskih prostorov, ki niso bili zasuti s sedimenti, sigo in podori. Ker so taki prostori v manjšini, starost kamnin in tektonskih struktur ni zadoščala, da bi spoznali nastanek in razvoj Postojnskega jamskega sistema.

Leta 1976 je GOSPODARIČ podrobno speleološko preučil Postojnski jamski sistem in s tem tudi Pisani rov. Podrobna karta geoloških strukturnih elementov prikazuje poglobitve prelomne ploskve oziroma cone tudi v Pisanem rovu. Prikazani sta tudi sinklinala in antiklinala ter položaj dolomitiziranih in silificiranih apnencev ter apnencev z roženci.

Kvaliteto prenikle vode v Postojnski jami so opazovali več let KOGOVŠEK & HABIČ (1981), KOGOVŠEK (1983) ter KOGOVŠEK & KRANJC (1989). Tako so z vzorčevanjem vode v Pisnem rovu zajeli prenasičeno preniklo vodo, ki izloča sigo, kot tudi agresivno preniklo vodo, ki močno korozijsko učinkuje na kapnike in okoliške kamnine.

Pomemben podatek v razvoju Pisanega rova so različne generacije sig ter podrti kapniki. Z različnimi metodami so naredili več analiz starosti sige. Z metodo ERS so IKEYA, MIKI & GOSPODARIČ (1983) ugotovili da je rdeča siga stara 530.000 let. ZUPAN (1991) je z U/Th metodo ugotovila, da je rdečkasta siga v Pisanem rovu stara več kot 350.000 let.

### LITOLOŠKE RAZMERE

Po OGC list Postojna (BUSER, GRAD & PLENIČAR, 1963) je Postojnska jama izoblikovana v zgornjekrednem apnencu  $K_2^{2,3}$ ) turonijske in senonijske starosti.

Litološke razmere Pisanega rova je prvi opisal GOSPODARIČ (1963, 1976). V turonijskem apnencu  $K_2^2$  omenja rožence ter dolomitizirane apnence. Z vzdolžnim profilom je prikazal več antiklinalnih struktur, ki so prekinjene s prelomi. Skladi apnenca vpadajo pretežno proti zahodu.

Pri točki 5, 10, 16 in 25 (slika 1) so skladi dolomitiziranega apnenca, tu je tudi nekaj nekarbonatnih primesi. Pri točki 10 so skladoviti silificirani in dolomitizirani apnenci (GOSPODARIČ, 1976). Silificirani in dolomitizirani apnenci so bolj odporni proti korozijskemu delovanju vode. Ker pa so skladoviti in jih preprezajo dolge razpoke, je voda v njih izdelala prav take prostore kot drugod. Po geološki zgradbi površja sklepamo, da je vzhodno od Pisanega rova dolomitiziranih apnencev mnogo več (GOSPODARIČ, 1960).

Po GOSPODARIČU (1976) so v Pisanem rovu najstarejši skladi apnenca z roženci, potem sledi neskladovit apnenec in skladovit apnenec.

S podrobnim tektonsko-litološkim kartiranjem Pisanega rova v merilu 1:500 smo pregledali tudi smer in vpad plasti.

Slika 1 prikazuje poleg tektonskih razmer Pisanega rova tudi pglavitne slemenitve in vpade plasti. Med točkama 10 in 11 je teme antiklinale, smer vpada kril je 20/20 in 200/15. Proti stropu dvorane pa so plasti skoraj vodoravne, tako da gre za zelo blago antiklinalo. Po GOSPODARIČU (1976) nastopajo v tem predelu rova skladi apnenca z roženci. Debelina plasti rožencev v apnencu je okrog 3 cm. Mikroskopske raziskave vzorcev iz Pisanega rova so pokazale, da gre med točkama 10 in 11 za dolomitiziran mikritni apnenec, medtem ko rožencev v mikroskopskih analizah nisem zajela (ŠEBELA, 1989). GOSPODARIČ (1976) omenja rožence še v rovu južno od točke 16 ter v rovu vzhodno od točke 25.

V predelu rova med točkama 11 in 25 vpadajo plasti proti zahodu za 5–30°, v povprečju 10–20°. V rovu zahodno od točke 11 so tudi vodoravne plasti. Gre za skladovit apnenec s povprečno debelino skladov 0.5 m. Južno od točke 10 vpadajo plasti proti jugu za 20–40°. Od točke 9 vse do točke 3 je neskladovit apnenec, pri točki 3 pa debelo skladovit apnenec.

## TEKTONSKE OSNOVE PISANEGA ROVA

V smislu tektonske razčlenitve Slovenije spada ozemlje Postojnske jame k tektonski enoti Javorniško–snežniških grud, ki jo štejemo v nariv Visokega krasi. Na severu je nanjo narinjena tektonska enota Hrušice. Dinarsko usmerjeni predjamski prelom deli tektonsko enoto Hrušice od Nanosa. Morda se ta prelom nadaljuje proti Postojni nekje vzdolž meje med krednimi in eocenskimi flišnimi skladi, vendar tega doslej še ni bilo mogoče dokazati (PLENIČAR, 1970).

S podrobnim tektonskim kartiranjem v merilu 1:500 po metodi ČARJA (1982, 1984) smo poskušali ugotoviti povezavo tektonsko pretrtih con (zdrobljenih, porušenih in razpoklinskih) s potekom jamskih rovov. Slika 1 nam prikazuje potek rova glede na smer in vpad tektonsko pretrtih con.

Pomembnejše smeri tektonsko pretrtih con, in sicer gre za prelomne deformacije in deloma deformacije gubanja (antiklinala), so dinarske, vendar pa močno prevladujejo smeri sever–jug. Zanimivo je, da prečno dinarske smeri sekajo in prekinjajo ter tudi zamikajo dinarske smeri. Torej so prečno dinarske smeri pretrtih con relativno mlajše od dinarskih con, oziroma con sever–jug. Ob prečnodinarskih prelomnih conah in prelomnih conah smeri skoraj E–W



najdemo tudi glavne podore (slika 2), kar kaže na to, da so te smeri po porušitvi najmlajše. Prelomne ploskve, ki spremljajo te cone so močno izražene in zato v jami dobro določljive (slika 1).

V najsevernejšem delu Pisanega rova, to je med točko 25 in 23 je glavna smer vpada prelomnih con  $80/90^\circ$  (slika 1). Izrazita prelomna ploskev, katere smer vpada se spreminja od  $110\text{--}130^\circ$  ter vpad od  $60\text{--}90^\circ$ , seka zgoraj omenjene pretrte cone in nekatere od njih celo zamika. Ta cona se nadaljuje tudi v stranski rov vzhodno od točke 25, kar pomeni, da je nastanek tega stranskega rova pravzaprav povezan s potekom te prelomne cone. Strop tega stranskega rova pa poteka po plasteh (slika 3).

Južno od točke 25 se nadaljujejo pretrte cone z vpadom v smeri  $80^\circ$ . Gre za širšo prelomno cono. V tem predelu jame je izredno močna korozija, tako da so razjedeni tudi kapniki. Strop dvorane v okolici točke 24 sovпада s plastmi (slika 4; profil JJ' na sliki 2).

Med točkama 23 in 22 ter 23 in 24 se smer glavne prelomne cone nekoliko spremeni. V dvorani pri točki 24 vpada prelomna cona v smeri  $60/80$ . To cono spremlja tektonska breča. Tudi v tem delu poteka strop dvorane po plasteh apnenca (profil II' na sliki 2).

V nadaljevanju Pisanega rova vpada prelomna cona v smeri  $85/90$ . Gre za prelomno cono, ki je široka okrog 3 m in poteka skladno z rovom.

Severovzhodno od t. 18 je na skrajnem desnem robu dvorane stranski roveček z zdrobljeno cono v smeri  $150/90$ . V glavnem rovu je glavna smer prelomnih ploskev  $100/90^\circ$ . Prečni profil HH' je prikazan na sliki 2. Sledi predel rova dolžine okrog 100 m med točkama 14 in 16, ki poteka v smeri vzhod-zahod.

V kraku rova južno od točke 16 je najjužnejši del zaprt s podornimi bloki, ki so odpadli iz močne notranje (in deloma zunanje) prelomne cone s smerjo vpada  $140/90$  (profil GG' na sliki 2). Le skrajni jugozahodni del rova poteka po tej prelomni coni, medtem ko sam rov poteka po porušeni coni z vpadom  $70/70$ . Zanimivo je, da to porušeno cono sekajo prečnodinarsko usmerjene prelomne ploskve s spremljajočimi porušeni oziroma zdrobljenimi conami.

V predelu rova, med točkama 14 in 16, ki poteka v smeri vzhod-zahod, so najmočneje izražene porušene cone smeri sever-jug. Gre za zelo dobro vidne močne porušene cone širine okrog 2 do 3 metre z zelo strmim vpadnim kotom, ki znaša od  $80$  do  $90^\circ$ . Smer vpada teh con se v povprečju spreminja za  $10\text{--}20^\circ$ . Vendar pa tu zasledimo tudi prečne, slabše izražene porušene cone, ki vpadajo  $10/90$ . Porušene cone s smerjo sever-jug sekajo slabše izražene cone smeri vzhod-zahod.

Nato ima Pisani rov zopet smer sever-jug. Najprej sledi močni prelomni coni z vpadom  $90/90$ . Pri tej coni lahko opazujemo okrog 1 m široko notranjo prelomno cono s tektonsko brečo ter seveda zunanjo prelomno cono, v kateri so

---

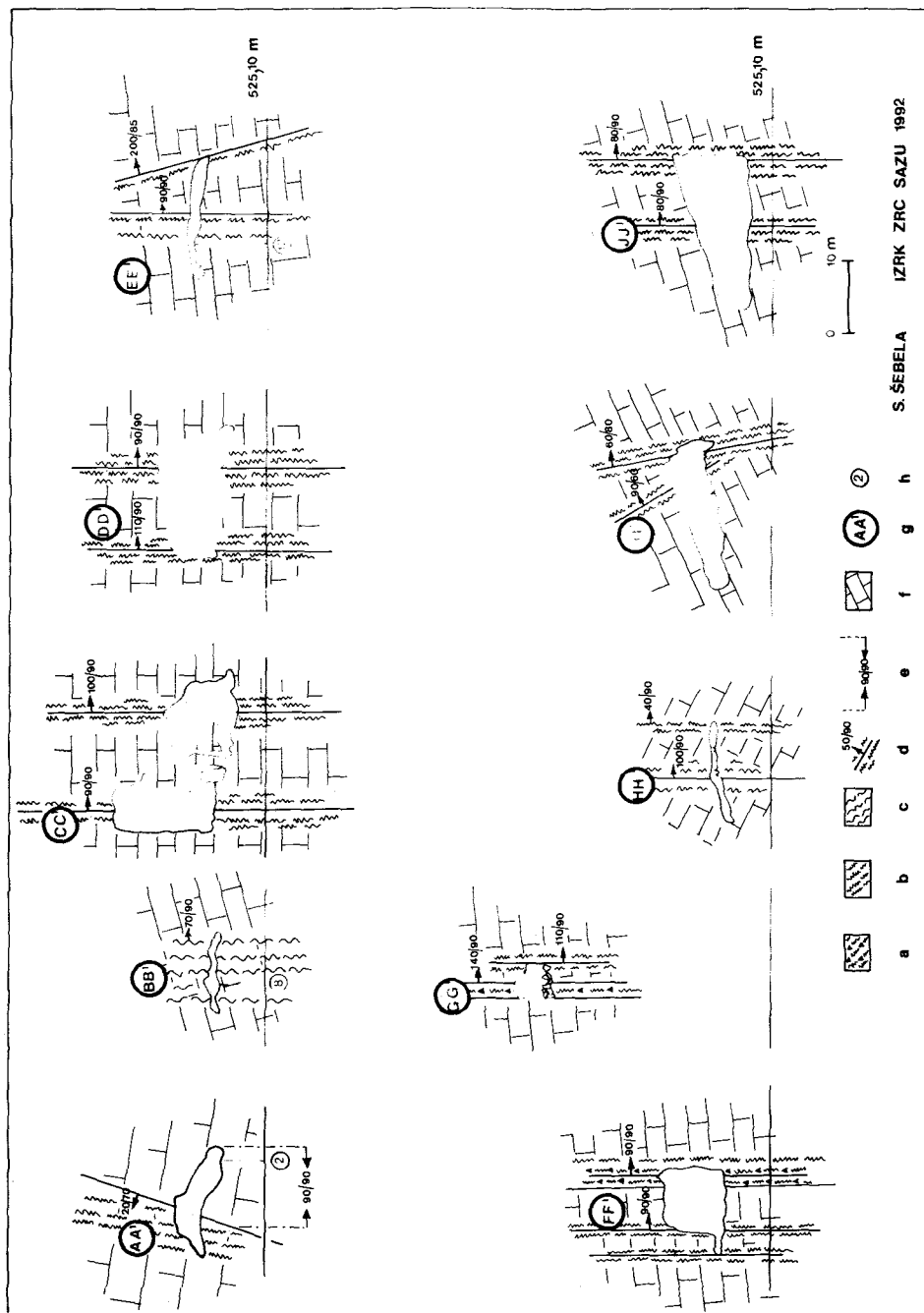
Sl. 1. Geološko-tektonske razmere v Pisanem rovu Postojnske jame.

a-zdrobljena cona, b-porušena cona, c-razpoklinska cona, d-slemenitev in vpad močnejših prelomnih ploskev, e-slemenitev in vpad šibkejših prelomnih ploskev, f-slemenitev in vpad plasti, g-antiklinala, h-geodetska točka, i-presek rova.

Fig.1. Geological-tectonic setting in Pisani rov of Postojna cave.

a-broken zone, b-crushed zone, c-fissured zone, d-strike and dip of more intensive fault planes, e-strike and dip of weak fault planes, f-strike and dip of beds, g-anticline, h-survey point, i-cross section.

slika 2



vidne vzporedne prelomne ploskev in spremljajoče porušene cone. Notranja prelomna cona poteka po vzhodnem delu rova. Strop rova pa deloma poteka po plasteh (slika 5; profil FF' na sliki 2).

Potem pridemo do nekoliko večje dvorane, med točkama 12 in 11, iz katere sta na sliki 1 označena dva prehoda v manjše stranske rove. Severni stranski rov poteka po notranji prelomni coni z vpadom 100/90. Gre za značilen ozek, okrog 7 m visok, rov, ki je na koncu, na okrog 1 m, zožan in zasigan. Ta stranski rov ima na zahodnem robu tudi manjši stranski dvorani. Južnejša je nekoliko večja in se konča z breznom globine 3–4 m. To brezno je vezano na 1 m široko prelomno cono 80/90.

Nekoliko večja dvorana Pisanega rova, med točkama 11 in 12, je v močno porušeni kamninah. Vidne so močno izražene prelomne ploskve, ki jih lahko sledimo čez celo dvorano. Taka je prelomna ploskev 30/60, ki seka vse ostale (slika 6). Lahko bi zaključili, da je dvorana nastala ob tej prelomni ploskvi, ki ima skoraj vzporedne dobro izražene prelomne ploskve s spremljajočimi porušeni conami kot npr. 200/85 in 220/90. V sami dvorani je mnogo podornih blokov, ki so odpadli predvsem po tektonsko pretrti conah.

Stranski rov (med točkama 11 in 10) ima zelo ozek prehod v zgoraj opisano večjo dvorano. Ta rov poteka po zdrobljeni coni s tektonsko brečo, ki jo omejuje ta prelomni ploskvi z vpadom 100/90 in 70/90. Tudi v tem delu rova je močna korozija.

Glavni rov Pisanega rova, in sicer nekoliko severno od točke 10 (profil DD' na sliki 2), poteka po prelomni coni z vpadom 100/90. Strop zahodnega dela te dvorane je oblikovan v prelomni coni, strop srednjega dela dvorane pa poteka po plasteh. Med točkama 10 in 9 so vidni veliki bloki (slika 7; profil CC' na sliki 2), ki so se odlomili po plasteh in deloma veznih prelomih, verjetno pa je šlo tudi za zdrse med plastmi.

Do točke 8 prevladujejo precej zasigani rovi, kjer je smer vpada porušene cone 70/90, ki proti jugu prehaja v močno razpoklinsko cono (slika 1; profil BB' na sliki 2).

V delu rova pri točki 5 je vpad porušeni con 80/90. V desnem stranskem rovčku je vpad močne porušene cone 70/90, na koncu rovčka pa prevladuje porušena cona 90/90.

Med točkama 3 in 4 je več skoraj vzporednih prelomnih ploskev z vpadom 20–30/70–80. Prečni profil AA' je prikazan na sliki 2.

## SKLEP

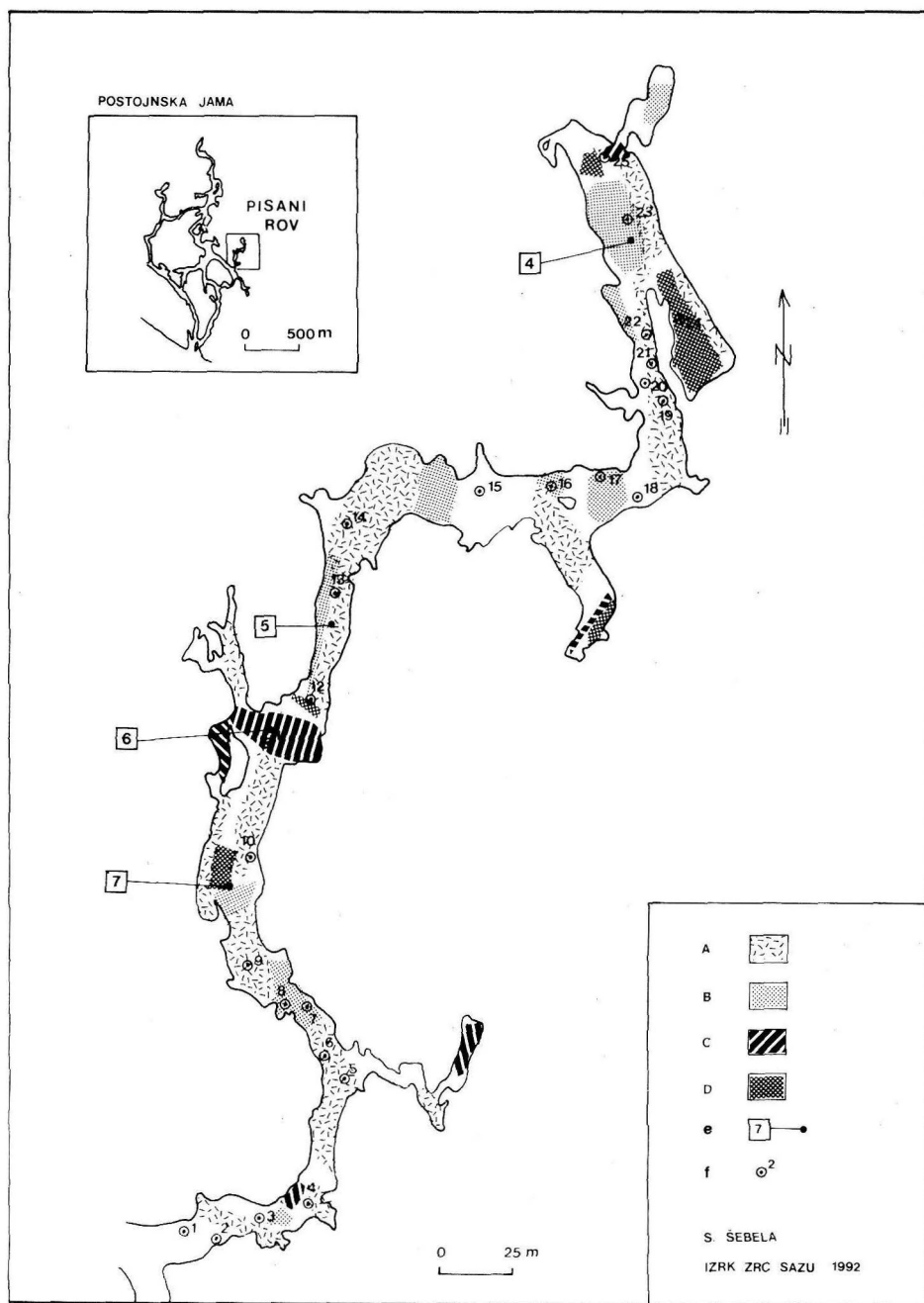
Pisani rov, ki je 920 m dolg stranski rov Postojnskega jamskega sistema (slika 1), je razvit v turonijskih apnencih  $K_2^2$ , ki na nekaterih mestih vsebujejo

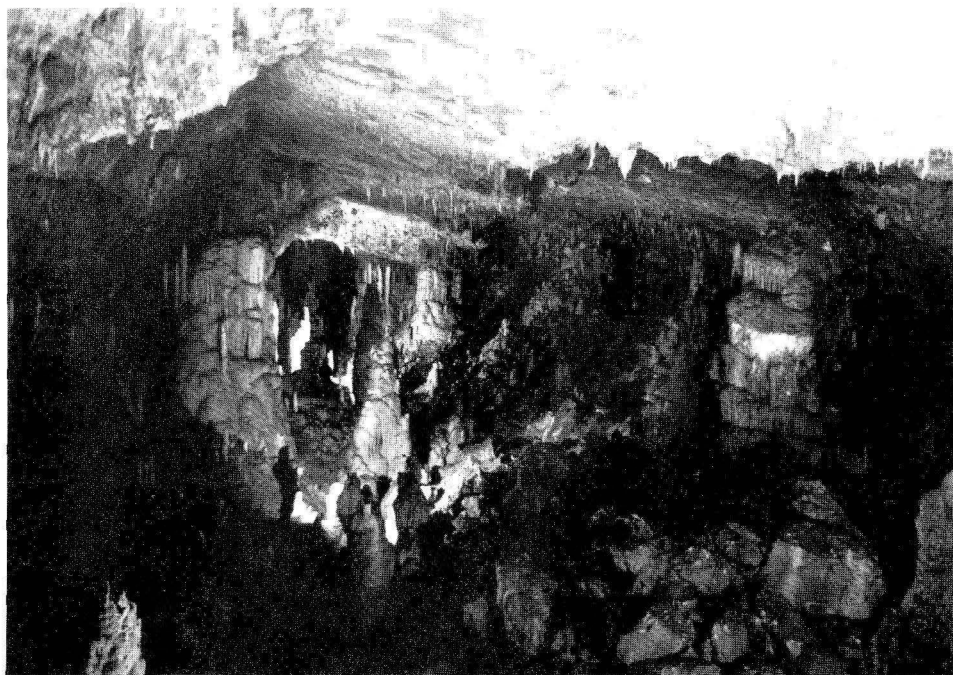
Sl. 2. Geološke razmere po prečnih prerezih v Pisanem rovu Postojnske jame. a-zdrobljena cona, b-porušena cona, c-razpoklinska cona, d-slemenitev in vpad prelomne ploskve oziroma pretrte cone, e-pretrta cona vzporedna s profilom, f-turonijski apnenec  $K_2^2$ , g-oznaka profila, h-geodetska točka.

Fig. 2. Geological setting in cross sections in Pisani rov of Postojna cave. a-broken zone, b-crushed zone, c-fissured zone, d-strike and dip of fault plane or fault zone, e-broken zone parallel to profile, f-Turonian limestone  $K_2^2$ , g-mark of cross section, h-survey point.



slika 3





Sl. 4. Strop dvorane pri točki 23 poteka po plasteh – pogled proti jugu. Prečni profil JJ' je na sliki 3.

Fig. 4. Cave ceiling near point 23 is parallel to beds – view towards south. Cross section JJ' is on Fig.3.

vložke oziroma pole dolomitiziranega apnenca in rožencev. Skladi apnenca so v povprečju debeli okrog 0.5 m, to velja predvsem za severni in osrednji predel rova, medtem ko je južni predel razvit v neskladovitem in debelo skladovitem apnencu.

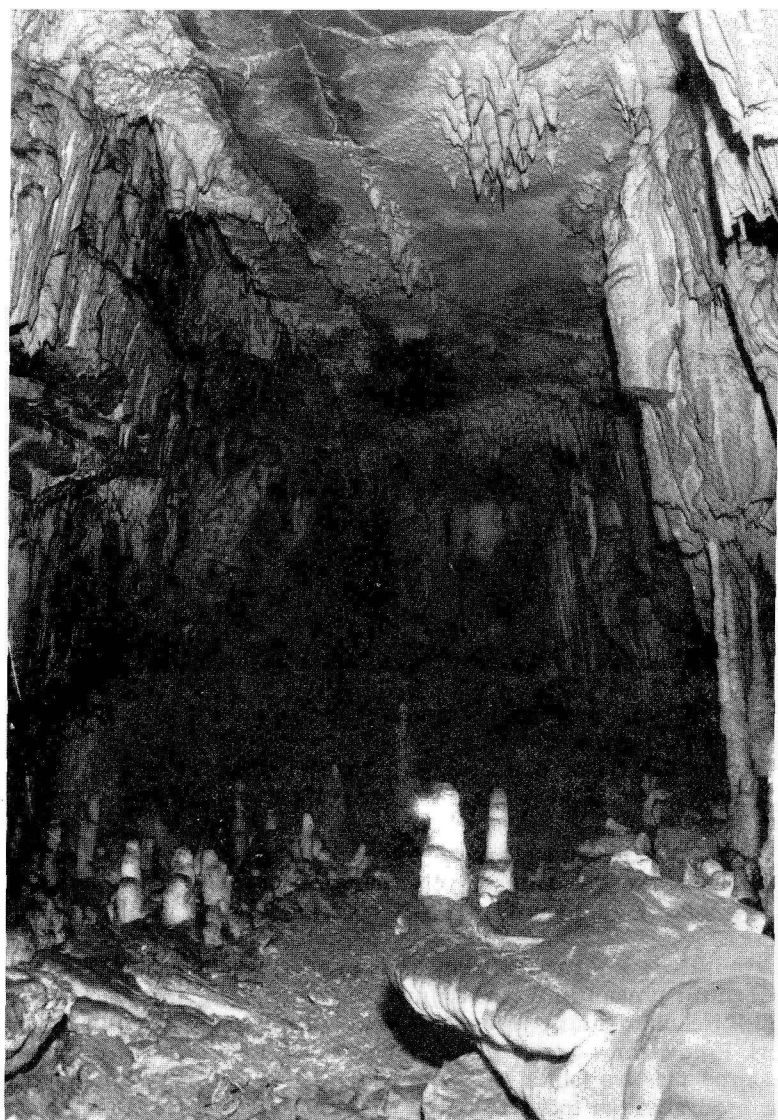
Od tektonskih strukturnih elementov prevladujejo porušene cone z bolj ali manj izraženimi prelomnimi ploskvami, pri čemer prevladujejo smeri sever–jug (slika 8,(2)). Nekoliko manj je smeri NW–SE (dinarskih smeri) in prečnodinarskih smeri. Predvsem v osrednjem in južnem delu Pisanega rova so močno izražene prelomne ploskve (slika 1), ki vpadajo 20–30°/60–90°. Ob teh prelomnih ploskvah, predvsem pri točki 11 (slika 6) je prišlo do zdrsov ter kasneje do nas-

Sl. 3. Razdelitev Pisanega rova glede na oznake A,B,C in D.

A-predel rova, ki je skladen s tektonsko pretrto cono in v katerem najdemo sled vodnega toka, B-predel rova, ki poteka po leziki in v katerem najdemo sled vodnega toka, C-podor po tektonsko pretrti coni, D-podor po leziki, e-oznaka in mesto fotografije, f-geodetska točka.

Fig.3. Classification of Pisani rov to types A,B,C and D.

A-section of passage which is parallel to tectonic broken zone in which we find water flow traces, B-section of passage which is parallel to bedplanes and in which we find water flow traces, C-breakdown in tectonic broken zone, D-breakdown in bedplanes, e-mark and location of photograph, f-survey point.

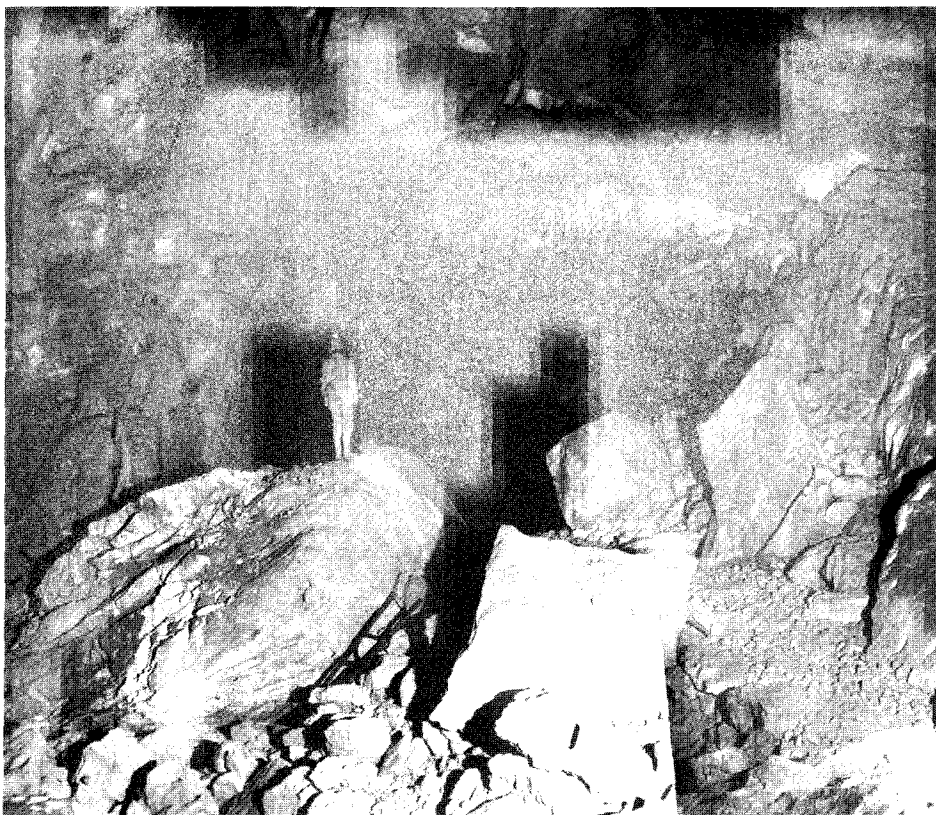


Sl. 5. Strop dvorane južno od točke 13 poteka po plasteh – pogled proti jugu. Prečni profil FF' je na sliki 3.

Fig. 5. Cave ceiling south from point 13 is parallel to beds – view towards south. Cross section FF' is on Fig.3.

tanka večjih podornih dvoran (slika 3, tip C). Tako so nastali tudi najmlajši prostori v celotnem Pisanem rovu.

Zdrobljene cone po pogostosti sledijo porušnim conam (slika 8,(3)), ki vpa-



Sl. 6. Prelomna ploskev 30/60 in podor pri točki 11 – pogled proti jugu.

Fig. 6. Fault plane 30/60 and breakdown near point 11 – view towards south.

dajo  $60-75^{\circ}/90^{\circ}$ . Razpoklinske cone (slika 8,(1)) so v Pisanem rovu najslabše zastopane.

Če primerjamo smer rova (slika 8,(5)) in smer vpada vseh pretrtih con (slika 8,(4)) se smer rova precej sklada s smerjo pretrtih con in slemenitvijo plasti (slika 8,(6)).

Posebno zanimiv je odnos poteka stropa v rovu, glede na plasti in tektonsko pretrte cone, kar prikazuje slika 3. V Pisanem rovu so nekateri odseki stropa rova skladni s plastmi, nekateri pa so oblikovani po tektonsko pretrtih conah.

Posebno vlogo v razvoju jamskega rova imajo podori, ki pomenijo preoblikovanje prvotnih oblik, lahko pa tudi smeri rova. Seveda danes težko sklepamo na najstarejše podore, saj so vidni predvsem najmlajši podori.

Potek jamskih rogov sem po obliki prečnih profilov in po obliki stropa razdelila na 4 tipe. Slika 3 prikazuje:

- predel rova, ki poteka po tektonsko pretrti coni in v kateri opazimo sled vodnega toka (npr. stropne kanale, fasete) (A)
- predel rova, ki poteka po leziki in v kateri opazimo sled vodnega toka (B)
- podor po tektonsko pretrti coni (C)



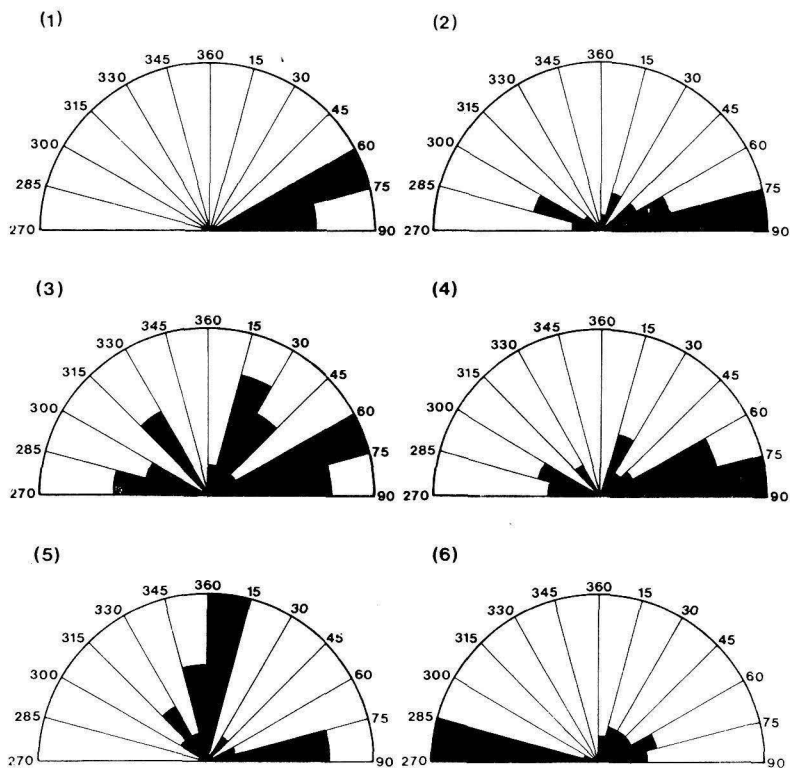
Sl. 7. Geološke razmere med točkama 10 in 9 – pogled proti severu. Prečni profil CC' je na sliki 3.

Fig. 7. Geological setting between points 10 and 9 – view towards north. Cross section CC' in on Fig.3.

– podor po leziki (D).

Natančen pregled stropa v Pisanem rovu je pokazal nekatere zanimive ugotovitve. V predelih rova, kjer poteka strop skladno s tektonskimi strukturnimi elementi (npr. razpoklinskimi, porušenimi in zdrobljenimi conami) lahko v nekaterih primerih (tip A na sliki 3) zaključimo, da je vodni tok v začetnih fazah sledil tem tektonsko pretrtim conam, kar nam nakazujejo stropne kotlice oziroma stropni kanali in fasete. V nekaterih primerih strop sledi tektonskemu strukturnemu elementu, tako da so te cone tektonsko porušene oziroma podrte in ne opazimo sledov vodnega toka v njih. V tem primeru gre za strop oblikovan po podoru iz porušene oziroma zdrobljene cone. Predeli rova nastali na tak način (na sliki 3 so označeni s C) so se oblikovali po začetnih fazah razvoja in so genetsko mlajši deli rova kot deli označeni s tipom A. To velja predvsem za močne prelomne ploskve pri točki 11 (slika 3 in slika 6), pa tudi za predel rova južno od točke 16. Naslednji primer predstavljajo rovi katerih strop poteka po lezikah (slika 3, tip B). To je raven strop, v katerem so elementi kot stropni kanali ali fasete, ki kažejo na starejšo fazo poteka jamskega rova. Za četrti primer je značilna porušitev po lezikah (slika 3, tip D), kar po starosti lahko vzporejamo s podori po tektonsko pretrtih conah (C).

Današnji potek Pisanega rova in današnja oblika rova skrivata sledove različnih procesov iz različnih obdobj. V grobem lahko določimo starejše in novej-



Sl. 8. Polrozete – diagrami smeri vpada razpoklinskih (1), porušenih (2), zdrobljenih (3) con; diagram smeri vpada vseh treh tektonsko pretrtih con skupaj (4); diagram smeri rova (5); diagram smeri vpada plasti (6).

Fig. 8. Diagrams of strike direction of fissured zones (1), crushed zones (2), broken zones (3); diagram of strike direction of all the tectonic crushed zones together (4); diagram of passage directions (5); diagram of strike directions of beds (6).

še odseke rova (starejši so označeni z A in B, novejši s C in D (slika 3)), predele rova, ki so bili v občasno zaliti coni (sledovi faset, stropnih kotlic) in predele, ki so bili porušeni (podor) po tistem, ko je bil rov zadnjič zalit z vodo. Inicialni sledovi vodnega toka v leziki kot tudi v tektonsko pretrti coni, so zelo težko določljivi, ker je bil rov vedno izpostavljen spreminjanju.

Še vedno je predvsem zaradi pomanjkanja podatkov, ki kažejo inicialno stanje, težko opredeliti vzroke prevajanja vodnega toka v določenem delu jame po litoloških ali tektonskih elementih. Vendar pa je podrobno tektonsko-litološko kartiranje pokazalo precejšen pomen oblikovanja Pisanega rova po tektonsko pretrtih conah kot tudi po lezikah.

Nadaljne raziskave v smeri povezovanja geoloških strukturnih elementov s speleogenezo jamskih rogov bodo obogatile spoznanja pretakanja vode v karbonatnih kamninah in na konkretnem primeru Postojnskega krasa razložile nekatere regionalne značilnosti.

## LITERATURA

- Buser, S., Grad, K. & Pleničar, M. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ Postojna 1:100000.- Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Čar, J. 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja.- *Acta carsologica SAZU* 10 (1981), 75-105, Ljubljana.
- Čar, J. & Gospodarič, R. 1984: O geologiji krasa med Postojno, Planino in Cerknico.- *Acta carsologica SAZU* 12 (1983), 91-106, Ljubljana.
- Čar, J. 1986: Geološke osnove oblikovanja kraškega površja.- *Acta carsologica SAZU* 14/15 (1985-86), 31-38, Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1963: K poznavanju Postojnske jame - Pisani rov.- *Naše jame* 4 (1962), 9-16, Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami.- *Naše jame* 5 (1963), 5-11, Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami. - *Naše jame* 9 (1967), 15-31, Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1969: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. *Naše jame* 10 (1968), 37-44, Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju.- *Acta carsologica SAZU* VII, 5-135, Ljubljana.
- Ikeya, M., Miki, T. & Gospodarič, R. 1983: ESR Dating of Postojna Cave Stalactite.- *Acta Carsologica* 11 (1982), 117-130, Ljubljana.
- KATASTER JAM INŠTITUTA ZA RAZISKOVANJE KRASA ZRC SAZU Postojna.
- Kogovšek, J. 1983: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame. *Acta carsologica* 11, 59-76, Ljubljana.
- Kogovšek, J. & Habič, P. 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica* 9, 111-148, Ljubljana.
- Kogovšek, J. & Kranjc, A. 1989: Vpliv kislih padavin na procese v Postojnski jami.- *Acta carsologica SAZU* XVIII (1989), 221-232, Ljubljana.
- Michler, I. & Hribar, F. 1959/60: Sistem Postojnskih jam.- *Proteus* XXII/8, Ljubljana.
- Palmer, A. N. 1991: Origin and morphology of limestone caves.- *Geological Society of America Bulletin*, v.103, 1-21, s.l.
- Pleničar, M. 1960: Prispevek h geologiji Postojnskega jamskega sistema. *Naše jame* II/1-2, Ljubljana.
- Pleničar, M. 1970: Tolmač lista Postojna. Osnovna geološka karta SRFJ 1:100000.- Zvezni geološki zavod Beograd, 62 str., Beograd.
- Šebela, S. 1989: Apnenec z roženci in njihov vpliv na velikost rogov v Postojnski jami.- *Acta Carsologica* XVIII, 157-170, Ljubljana.
- Šebela, S. & Čar, J. 1991: Geološke razmere v podornih dvoranah Vzhodnega rova Predjame.- *Acta Carsologica* XX, 205-222, Ljubljana.
- Zupan, N. 1991: Flowstone datations in Slovenia.- *Acta Carsologica* XX, 187-204, Ljubljana.
- Wagner, G. 1954: Der Karst als Musterbeispiel der Verkarstung.- *Aus der Heimat*, 62/9-10, Tübingen.



## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PISANI ROV IN POSTOJNA CAVE

### Summary

Pisani rov, 920 metres long lateral passage of Postojna cave system (Fig.1), developed in Turonian limestone  $K_2^2$ , contains layers of dolomitized limestone and cherts. In the northern parts limestone layers are 0.5 metres thick in average and in the middle and southern parts limestones are more solid and thick.

Referring to tectonic structural elements crushed zones with more or less visible fault planes in N-S direction are the most frequent (Fig.8 (2)). Dinaric (NW-SE) and cross dinaric (NE-SW) directions are a bit less common. In the middle and southern parts of Pisani rov fault planes (Fig. 1) with strike and dip of  $20-30^\circ/60-90^\circ$  are very well visible. Between these fault planes, especially near point 11 (Fig. 6), the movements were present that caused big collapsed chambers (Fig.3, C type). In that way the youngest places in the Pisani rov passage were formed.

Crushed zones follow broken zones (Fig. 8 (3)) with strike and dip  $60-75^\circ/90^\circ$  by the frequency. Fissured zones (Fig. 8 (1)) are the least frequent in Pisani rov.

If we compare the direction of Pisani rov (Fig. 8 (5)) with strike of all the tectonic zones (Fig.8 (4)) we could see that direction of channel is rather parallel with tectonic zones and beds (Fig. 8 (6)).

Fig. 3 shows the relation among cave ceiling, tectonic zones and beds what is very interesting. In Pisani rov some parts of the cave ceilings are parallel with beds and some with tectonic zones.

Special part in development of cave passages have breakdowns, which signify transformation of primary shapes and also directions of passages. Today it's difficult to determine places of old breakdowns as the youngest ones are visible only.

Related to cross sections and ceiling shapes I classified cave passages in 4 types. Fig. 3 shows:

- section of passage parallel to tectonic zones, traces of water flow (roof half tubes, scallops) are still visible (A)
- sections of passages parallel to bedplanes, traces of water flow are visible (B)
- breakdown in tectonic zone (C)
- breakdown in bedplanes (D).

In parts of Pisani rov where the ceiling is parallel to tectonic zones in some cases (Fig.3, A type ) one could assume that water flow in primary phases followed tectonic zones evidenced by roof half tubes. In some cases ceiling follows tectonic zones but they are tectonically broken and collapsed and no traces of water flow remained. In that case ceiling was formed by breakdown of tectonic zone and represents C type. Parts of Pisani rov in C type are genetically younger than parts of A type. The best example is found near point 11 (Fig. 3 and Fig. 6). Next cases are passages with ceiling in bedplanes (Fig. 3, B type). They represent flat ceiling where on the roof half tubes and scallops show primary stage of cave passage. The fourth example is characteristic for passages collapsed according to bedplanes (Fig. 3, D type). Types C and D are genetically parallel.



The direction and shape of recent passages in Pisani rov hide traces of different processes from different periods. We can separate older and newer parts of the passages. Types A and B are older parts, C and D are younger (Fig. 3). These are the parts belonging to vadose zone with traces of water flow (A and B) and to the breakdown passages developed after the period when the passage was waterfilled. Initial traces of water flow in bedplanes as well as in tectonic zones are very difficult to determine, because Pisani rov was always exposed to changes.

Due to the initially cave data deficiency it's difficult to determine the reasons of water flow transmissivity in special parts of the cave by lithological or tectonical elements. Detailed tectonic-lithologic mapping in scale 1:500 shows great dependence of Pisani rov development on tectonic zones and also bedplanes.

Further investigations associated to geological structural elements and speleogenesis would enrich the knowledge on water transmissivity in carbonate rocks and the concrete exemple of Postojna karst area would explain some regional characteristics.

**MINERALNA SESTAVA MEHANSKIH SEDIMENTOV IZ  
NEKATERIH DELOV SLOVENSKEGA KRASA**

MINERAL COMPOSITION OF MECHANICAL SEDIMENTS  
FROM SOME PARTS ON SLOVENIAN KARST

NADJA ZUPAN HAJNA

**Izvleček**

UDK 552.54:551.44(497.12-12/-14)

**Zupan Hajna, Nadja: Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa**

V članku je podan pregled mineralne sestave mehanskih sedimentov Notranjskega, Primorskega, Dolenjskega in Alpskega krasa. Glede na mineralno sestavo sedimentov je bilo v nekaterih vzorcih lahko določiti njihov izvor, toda pri ostalih bodo potrebne še dodatne raziskve.

Ključne besede: kras, mineral, sediment, izvor, preperevanje, Slovenija

**Abstract**

UDC 552.54:551.44(497.12-12/-14)

**Zupan Hajna, Nadja: Mineral composition of mechanical sediments from some parts on Slovenian karst**

In the article is presented the review of mineral composition of mechanical sediments from karst of Notranjska, Primorska, Dolenjska and Alps. Regarding the mineral composition of sediments in some samples it was easy to define their origin, but in the other the further analyses are necessary.

Key words: karst, mineral, sediment, origin, weathering, Slovenia

**Naslov - Address**

mag. Nadja Zupan Hajna, dipl. ing. geol.  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
66230 POSTOJNA, Titov trg 2  
Slovenija

## UVOD

V članku je podan pregled mineraloško analiziranih kraških mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa, ki so bili obdelani v zadnjih nekaj letih.

Poudarek je na neobjavljenih analizah, že prej objavljeni rezultati so služili za primerjavo mineralne sestave med različnimi sedimenti. Nekaterim vzorcem se je glede na mineralno sestavo dalo sklepati na njihov izvor. Pri ostalih so za določitev izvora sedimenta potrebne še nadaljnje raziskave in je zato predstavljena samo njihova mineralna sestava.

Različne mehanske sedimente, po mineralni sestavi in po starosti, najdemo po krasu kot zapolnitve razpok, žepov, vrtač ter brezen ali kot sedimente v jamah.

V tej razpravi sem skušala najti odgovor na vprašanja:

1. Ali so si sedimenti po krasu podobni po mineralni sestavi glede na čas usedanja in tako pripadajo istim "sedimentnim pokrovom" ter so samo različno prepereli – različne stopnje preperevanja istega izvirnega sedimenta.
2. Ali sestava mehanskih sedimentov odraža lokalna geološka in hidrološka dogajanja, to je preperevanje kamnin v okolici zapolnitev in jam ter lokalne poplave.
3. Ali so rezultat obeh procesov in je mineralna sestava odvisna od časa, kraja in pogojev sedimentacije.

## MEHANSKI SEDIMENTI NA KRASU

### Dosedanje raziskave

Najpomembnejši raziskovalec sedimentov na našem krasu je bil dr. Rado GOSPODARIČ. Preučeval je njihovo starost in izvor. Pri svojem delu je uporabljal sedimentološke in petrografske analize, opisal in obdelal je sedimente iz Cerkniškega polja in okoliških jam (1969, 1970, 1971a, 1971b, 1979), iz Postojnskega jamskega sistema in Planinske jame (1976, 1982a, 1982b) ter drugih jam s slovenskega krasa (1974, 1980a, 1980b, 1981, 1983, 1984a, 1984b, 1985, 1989). Pasovite ilovice in prodne zasipe v Postojnskem jamskem sistemu je GOSPODARIČ obdelal v svoji doktorski disertaciji. Ugotovil je, da je zelo pomembno petrografsko razločevanje mehanskih jamskih sedimentov, ter s tem njihova korelacija.

Nevezane jamske sedimente so v svojih delih opisovali tudi arheologi, na primer S.BRODAR (1966) in F.OSOLE (1961).

V svoji diplomski nalogi je F. ŠUŠTERŠIČ (1976) preučeval kvartarne sedimente v zasutih breznihi notranjskega krasi in MISTENIČ (1987) sedimente v Taborski jami.

Na kraškem površju so preučevali terra roso različni avtorji, med drugimi A.HORVAT (1953) in V.GREGORIČ (1969).

#### Nastanek sedimentnih pokrovov, zapolnitev in skorij

Mehanske sedimente na krasu najdemo odložene v jamah in na površju, kjer zapolnjujejo večje in manjše depresije ali pa prekrivajo večja področja.

Sedimentni pokrovi so lahko na mestu nastanka (eluvij) ali prinešeni na določeno ozemlje od drugje. V toku prenosa in odlaganja na drugotnem mestu pri tem zapolnijo vse depresije prej obstoječega reliefa. Značilni sedimentni pokrov za kraško ozemlje je rdeča ilovica, imenovana terra rosa. Najdemo jo lahko v debelih slojih po površju ali infiltrirano v razpoke in jame.

Izvorni material za sedimentne pokrove, zapolnitve in jamske sedimente so različno mehansko in kemijsko prepereli ostanki kamnin. Pri mehanskem preperevanju nastaja kamninski drobir, ki se nanaša v depresije. Pri kemijskem preperevanju se lahko prvotni minerali:

- preobrazijo v nove minerale in se kopičijo v novih usedlinah,
- ali ostanejo kot rezidualni minerali v skorjah in novih usedlinah ter so pokazatelj izvorne kamnine.

Prvotni minerali se lahko izgubijo pri preperevanju na različne načine. Najpomembnejša je kemijska razgradnja ali izmenjava (F.J.PETTIJOHN, P.E.POTTER, R.SIEVER, 1972).

Koliko mineralov in kateri se izgubijo na svoji poti je odvisno od dolžine in smeri transporta. Velik vpliv na minerale ima različno močna abrazija. Mehkejši minerali zato prej razpadejo kot trši ali pa so od njih bolj zaobljeni. Mnogi minerali so premehki, da bi preživel transport v velikosti zrn peska, zato njihova zrna najdemo v velikosti melja in gline.

Kamnine začnejo preperevati, ko so izpostavljene drugačnim pogojem kot so vladali pri njihovem oblikovanju in to zaradi tega, ker vsaka kamnina teži k vzpostavitvi fizikalnega in kemijskega ravnotežja. Način preperevanja je odvisen od mineralne sestave kamnin. Različni minerali so pri različnih atmosferskih pogojih različno obstojni.

Karbonatne kamnine mehansko in kemijsko preperevajo (R.B.KRAUSKOPF, 1982), ko pridejo v območje atmosferskega pritiska in temperature ter pod vpliv površinske vode, ki je relativno bogata s  $\text{CO}_2$  in  $\text{O}_2$ . Najpomembnejša pri raztapljanju karbonatov so karbonatna ravnotežja, ki podajajo odnos med ogljikovo kislino in karbonatnimi minerali. Na površju in v coni navpičnega prenikanja na krasu voda raztaplja kalcit in ga potem v jami izloči v obliki sige. Apnenec raztapljajo šibke kisline, na samo raztapljanje vplivajo različni dejavniki, kot so parcialni tlak  $\text{CO}_2$ , temperatura in pH, medtem ko Eh nima na razpad in tvorbo kalcita nobenega vpliva.

Topnost kalcita v naravnih vodah pada pri višji temperaturi zaradi tega, ker je  $\text{CO}_2$  manj topen v toplih kot mrzlih vodah. Več ga je, več je karbonatne kisline, ki apnenec raztaplja. Karbonati so različno topni. Tako je dolomit na primer manj topen od apnenca.

Vrednost pH ima velik vpliv na topnost in obarjanje karbonatov. Pri nizkem pH, kjer večina raztopljenega karbonata obstaja v obliki  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , je vodil-

no raztapljanje kalcita, pri visokem pH pa poteka obarjanje kalcita. Meja obstojnosti kalcita je pri  $\text{pH} = 7,8$ .

Poleg raztapljanja apnenca prihaja tudi do njegovega mehanskega razpadanja.

Nekarbonatni minerali, ki so v manjših količinah prisotni kot primesi v apnencih, so od njih mnogo bolj obstojni in se navadno skoncentrirajo med netopnimi ostanki. Kremen, ki ga je veliko v silificiranih apnencih, je zelo obstojen. Njegovo preperevanje obsega zelo počasno drobljenje in topljenje v površinskih vodah. Ker je kremen zelo obstojen mineral je končni produkt preperevanja različnih kamnin. Zato ga velikokrat najdemo kot prevladujoč mineral v različnih mehanskih sedimentih na površju. Minerali, kot so glinenci, amfiboli, pirokseni, ki gradijo na primer flišne kamnine in različne peščenjake, so velikokrat v kontaktu s karbonatnimi kamninami, so veliko manj obstojni od kremenca. Te minerale največkrat nadomeščajo glineni minerali in klorit. Kateri od naštetih mineralov pri preperevanju nastanejo je odvisno od fizikalno kemijskih pogojev v okolju.

Preperevanje kamnin običajno pospešuje toplo podnebje, večja količina površinske vode in tektonska razdrobljenost kamnin. Prepereli ostanki lahko ostanejo na mestu nastanka, voda jih lahko nanaša v depresije, razpoke, jame, ali na večja področja. Pokrovi in prenešeni sedimenti so potem podvrženi procesom diageneze, kjer lahko pride do nastanka skorij. Skorje so največkrat limonitne z ostanki prvotne kamnine ali sedimenta. Železo je v mineralih primarne kamnine ali pa je bilo prineseno s sedimentom.  $\text{Fe}^{2+}$  ion je lažje topljiv in se transportira v raztopinah, ko se oksidira nastaneta železova hidroksida goethit in lepidokrokrit, kjer je železo v obliki  $\text{Fe}^{3+}$  iona. Železovi hidroksidi so slabo topni, in zato ostanejo v obliki skorij.

Vsi sedimenti s kraškega površja pa so lahko nanešeni v jame z vertikalnim prenikanjem vode ali s ponikalnicami. Glede na mineralno sestavo usedlin lahko sklepamo na njihov izvor, zato je dobro poznati tudi kamnine in njihove prepelele ostanke zunaj jam.

#### Pregled mineralne sestave po kraških območjih Slovenije

V zadnjih nekaj letih so bile narejene mineraloške analize kraških mehanskih sedimentov iz različnih predelov slovenskega krasa. Največ je bilo obdelanih vzorcev z Notranjskega in Dolenjskega krasa, manj pa z Alpskega in Primorskega krasa. Vsi vzorci so bili obdelani z metodo rentgenske difraktoometrije. Rezultati so navedeni po relativni količini posameznega minerala v vzorcu, glede na intenzivnost njihovih glavnih odbojev. Lege vzorčnih mest so označene na sliki 1.

#### 1. Notranjski kras

Na področju Notranjskega krasa je bilo obdelano največ mehanskih sedimentov iz jam, manj pa s površja. Vzorci so iz Drskovč pri Pivki, Postojnskega jamskega sistema, Planinske jame, Zelških jam, Volčje jame, Cerkniskega jezera, izvirov Malnov, Ivanjega sela in Stare vasi.

### 1.1 Drskovče pri Ptuki

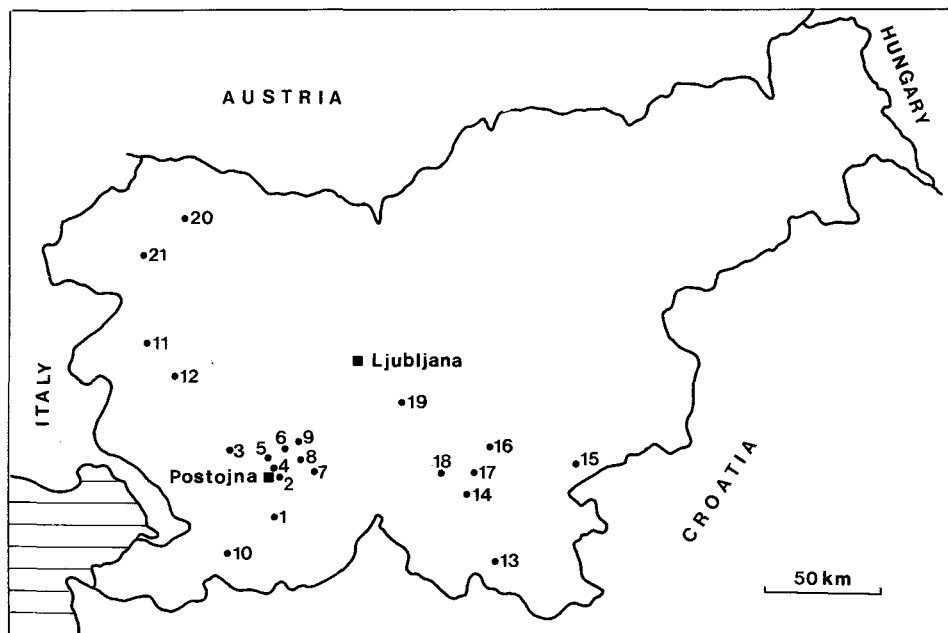
Vzorec ilovice vsebuje največ kremena (70%), sledi mu kalcit (20%), in kaolinit, v sledovih sta illit in plagioklaz.

### 1.2 Stara vas

V sivi lapornati ilovici prevladuje kalcit (45%), po količini mu sledi kremen (35%). Nekaj je tudi muskovita (10%) in plagioklaza (5%), malo je kaolinita in klorita (skupaj okrog 5%). Mineralna sestava nakazuje na izvor sedimenta s fliša, zraven je opazen vpliv dotoka drobirja z apnenca.

### 1.3 Volčja jama

Rdeči peščenjak vsebuje največ kalcita (okrog 80%), kremena je 5%, malo je illita, kaolinita in gibbsita. V sledovih so prisotni goethit, hematit in boehmit. Kalcitni drobir je nezaobljen in tudi mineralna sestava vzorca, kažeta na izvor sedimenta iz kamnin okrog jame.



Slika 1: Položaj analiziranih vzorcev

Fig. 1: Positions of analysed samples

1. Drskovče pri Postojni / near Postojna, 2. Stara vas, 3. Volčja jama, 4. Postojnska jama, 5. Pivka jama, 6. Planinska jama, Malni, Mrzli dol, 7. Cerkniško jezero, 8. Zelške jame, 9. Ivanje selo, 10. Dimnice, 11. Lokovec, 12. Velika ledenica v Paradani, 13. Brlog na Rinskem, 14. Stari Log, 15. Stranska vas, Radoha, 16. Zalisec, 17. Poganke, 18. Žvirče, 19. Polica, 20. Kredarica, Planika, Rž, 21. Lanževica, Gradič, Podrta gora, Suha.

#### 1.4 Postojnska jama

V vzorcih iz Postojnske jame so bili najdeni naslednji minerali: kremen, kalcit, illit, kaolinit, muskovit, klorit, plagioklaz in v sledovih goethit. Povprečna sestava vzorcev (slika 2/1) kaže na to, da močno prevladuje kremen (do 75%), sledita mikroklin (do 8%) in kalcit (do 5%), precej je tudi klorita in muskovita (skupaj okrog 7%), ostalih mineralov je pa malo. Taka mineralna sestava kaže na izvor sedimenta iz fliša Pivške kotline.

#### 1.5 Pivka jama

V Pivki jami sta bila z analizami iz vzorcev ločena dva tipa sedimenta. Pri prvem (1.5a) gre za dotok materiala po odprtih razpokah v jamo z navpičnim prenikanjem. Drugi (1.5b) je tektonska glina, ki se na prvi pogled izgleda kot laminiran rečni sediment. Vendar je v teh vzorcih skoraj samo kalcit, redko v katerih najdemo v sledovih kaolinit, goethit in hematit.

Sediment, ki ga prenikajoča voda prinaša s površja v jamo ima naslednjo mineralno sestavo: kremen (45%), kalcit (30%), illit (10%), kaolinit več kot 5%, plagioklaz (4%), dolomit (2%), klorit (2%) in goethit. Kot možen izvor je bila analizirana tudi rdeča preperina nad Pivko jamo. V vzorcih prevladuje kremen, ki ga je okrog 40%, kalcita je približno 25% in dolomita je malo manj kot 20%. V manjših količinah so plagioklaz (5%), kaolinit (3%), klorit (3%), illit (2%) in ingovača (2%), v sledovih sta opazna goethit in hematit.

#### 1.6 Planinska jama

V Rakovem rokavu Planinske jame je bilo analiziranih več vzorcev peska in ilovice. Povprečna sestava vzorcev je prikazana na sliki 2/2. Njihova mineralna sestava kaže na flišni izvor, saj v vzorcih prevladuje kremen (okrog 70%), po količini mu sledita plagioklaz in muskovit (vsakega okrog 10%). Ostali minerali so v podrejenih količinah, najdemo pa klorit, kaolinit ter goethit. V nekaterih vzorcih je tudi nekaj kalcita in dolomita, ki sta obogatila sediment s fliša na poti skozi kraško podzemlje.

#### 1.7 Malni

Na izviru v Malnih 80% sedimenta predstavlja kalcit, kremena je okrog 10%, ostalih mineralov je v vzorcu malo. Po količini si sledijo muskovit, dolomit, goethit, kaolinit in plagioklaz (slika 2/3). Razen kalcita in dolomita imajo minerali verjetno svoj izvor v flišu Pivške kotline. Kalcit in dolomit sta iz apnenca in dolomita, ki ju je voda pri pretoku skozi podzemlje erodirala.

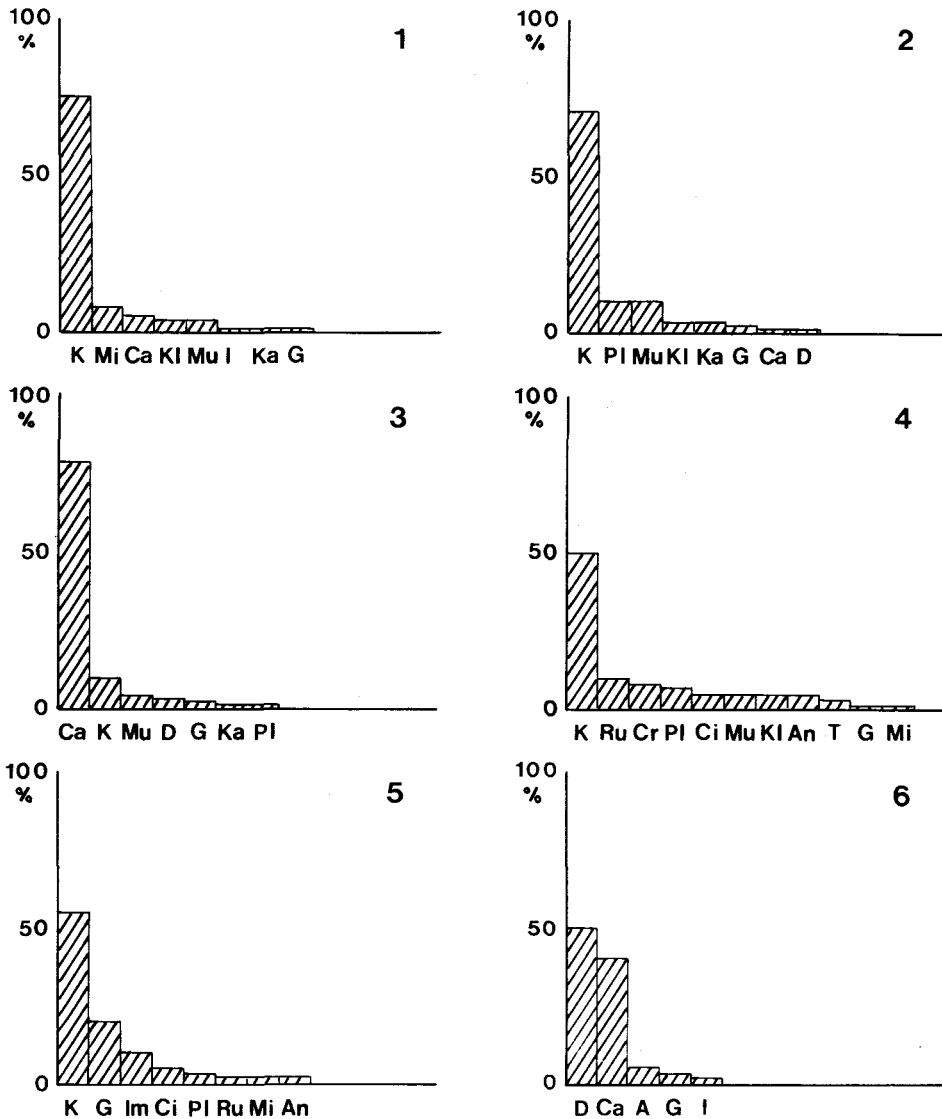
#### 1.8 Mrzli dol

Rumenorjava ilovica vsebuje največ kremena (okrog 80%), malo je illita, klorita in plagioklaza (vsakega okrog 5%) in najmanj kaolinita (manj kot 5%). Tudi ta mineralna sestava kaže na izvor mineralov s fliša.

#### 1.9 Cerkniško jezero

Pred ponorom v Veliko Karlovico v sedimentu najdemo naslednje minerale: kremen (okrog 50%), dolomit (45%) in malo kaolinita, diaspora ter goethita. Vsi ti minerali domnevno predstavljajo petrografsko sestavo obrobja Cerkniškega polja in njihove preperle ostanke.





Slika 2: Povprečna mineralna sestava vzorcev

Fig. 2: The average mineral composition of samples

Številka diagrama/ the number of diagram: 1.Postojnska jama, 2.Planinska jama, 3. Malni, 4.Dimnice, 5. Velika ledenica v Paradani 1, 6. Velika ledenica v Paradani 2. Minerali v vzorcih/ minerals in samples: K- kremen/ quartz, Ca- kalcit/ calcite, D- dolomit/ dolomite, Pl- plagioklaz/ Na-Ca feldspar, Mi- mikroklin/ microcline, Mu- muskovit/ muscovite, Kl- klorit/ chlorite, I- illit/ illite, Ka- kaolinit/ kaolinite, G- goethit/ goethite, Ru- rutil/ rutile, An- anataz/ anatase, Cr- kromit/ cromite, Ci- cirkon/ zircon, T- turmalin/ tourmaline, Im- ilmenit/ ilmenite, A- ankerit/ ankerite

### **1.10 Zelške jame**

V Blatnem rovu Zelških jam ima ilovica naslednjo mineralno sestavo: okrog 50% kremenca, 15% dolomita, 10% kalcita, po 5% klorita in gibbsita, 3% kaolinita, 2% illita in v sledovih diaspor, goethit ter hematit. Minerale je voda prinesla s Cerkniskega polja, na poti skozi podzemlje pa je prišlo do obogatitve s kalcitom.

### **1.11 Ivanje selo**

Mineralna sestava peščene lutke iz zasutega kraškega žepa je okrog 80% kalcita, 15% kremenca, malo je goethita in boehmita, kaolinit, gibbsit, psilomelan ter piroluzit se nahajajo v vzorcu samo v sledovih. Glede na mineralno sestavo in njihovo nezaobljenost so verjetno v žep naplavljeni iz njegove okolice.

### **1.12 Kalce**

Dolomita je v vzorcu največ (40%), sledita kalcit in kremen (po 20%), nekaj je tudi kaolinita in gibbsita (skupaj okrog 10%), malo je tudi klorita, v sledovih je mikroklin. Potrebne bodo še dodatne raziskave, vendar večina materiala izhaja iz bližnje okolice, opazen pa je mogoče rahel vpliv mineralov s fliša.

## **2. Visoki notranjski kras**

Vzorci so iz nahajališča prodnikov Lokovec z Banjske planote ter Velike Ledenice v Paradani s Trnovskega gozda.

### **2.1 Lokovec**

Z Lokovca sta bila analizirana dva vzorca. V prvem vzorcu močno prevladuje apatit (95%) zraven je malo neznanega minerala. V drugem vzorcu je samo apatit, saj edino v sledovih lahko opazimo kremen in neznan mineral. Za določitev izvora tega apatita bodo potrebne še nadaljne raziskave.

### **2.2 Velika Ledenica v Paradani**

V tej jami sta najdena glede na izvor dva tipa mehanskih sedimentov.

Prvi (2.2a) je peščenjak v vhodnem delu jame z mineralno sestavo kremen (okrog 55%), goethit (20%), ilmenit (10%), cirkon (5%), plagioklaz, rutil, mikroklin in anataz, ki jih je pa v vzorcu bolj malo (slika 2/5). Minerali tega peščenjaka imajo izvor zunaj jame in tudi ne iz poznanih okoliških kamnin, tako, da je izvor neznan.

Drugi tip (2.2b) je pesek pod aktivnimi breznimi, ki vsebuje dolomit (50%), kalcit (40%) in ankerit (okrog 5%), ter malo goethita ter illita (slika 2/6). Mineralna sestava kaže na nastanek sedimenta z mehanskimi procesi v sami jami. V jami najdemo tudi pesek, ki je po mineralni sestavi mešanica obeh tipov, ker voda oba spira in nanaša v globlje dele jame.

## **3. Primorski kras**

Narejene so bile analize peskov in ilovic iz jame Dimnice v Matarskem polju.

### 3.1 Dimnice

Vzorci peska in ilovice iz Dimnic vsebujejo povprečno največ kremenca, okrog 50%. Po količini v različnih vzorcih sledijo drugačni minerali. Rutila je do 20%, kromita do 40%, do 10% je plagioklaza, cirkona, muskovita, klorita, anataza in turmalina. Goethita je do 5%, v še manjših količinah sta pa ponekod prisotna gibbsit in mikroklin (slika 2/4). Ti minerali imajo po vsej verjetnosti svoj izvor v brkinskem flišu, od koder vode ponikajo v kras Matarskega podolja.

## 4. Dolenjski kras

Največ je bilo analiziranih vzorcev iz zasutih žepov v Suhi krajini. Tu najdemo slabo zaobljene kremenove peske v rumeni preperini in drobne lepo zaobljene peske z navzkrižno plastovitostjo. Po površju na Dolenjskem najdemo tudi debele rjavkastordeče, rdeče in rumene preperine. Kot primer jamskih mehanskih sedimentov s tega področja so bili analizirani vzorci iz Brloga na Rimskem.

### 4.1 Brlog na Rimskem

Vzorci peska in ilovice iz jame vsebujejo v različnih količinah minerale: kremen do 60%, kalcit in dolomit do 50%, muskovit in plagioklaz do 10%, illit, goethit in kaolinit do 5%, v posameznih vzorcih je malo klorita, rogovače in mikroklina. Minerali imajo v glavnem izvor v permijem pesčenjaku, ki leži ob kontaktu z apnenci in dolomiti pred jamskim vhodom. Kalcit in dolomit pa predstavljata karbonatni drobir iz jame.

### 4.2 Stari Log

Rdečerjava preperina pred Starim Logom vsebuje okrog 60% kremenca, 20% muskovita, 10% klorita, malo je goethita, plagioklaza, mikroklina, kalcita in dolomita (slika 3/7).

### 4.3 Stranska vas

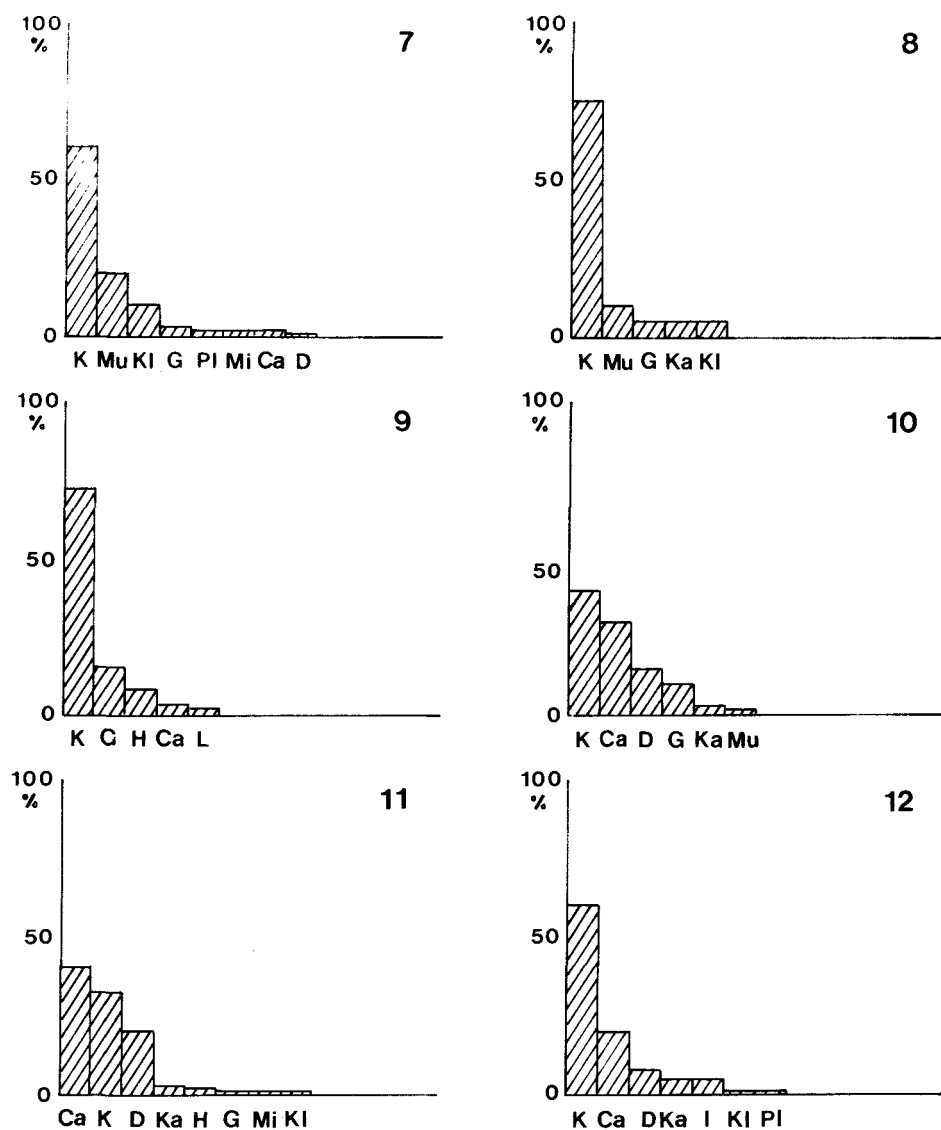
V vzorcu sivozelenega melja je daleč največ kremenca (80%), sledi mu kaolinit (10%), nato muskovit in klorit (vsakega je po približno 5%) in v sledih nastopa mikroklin.

### 4.4 Zalisec

Drobnozrnat pesek z vmesnimi plastmi gline iz žepa pri cestnem useku vsebuje okrog 75% kremenca. Muskovita je približno 10%, goethita, kaolinita in klorita pa po 5% (slika 3/8). Navzkrižna plastovitost sedimenta kaže na transport z vodnim tokom, izvora mineralov se iz te mineralne sestave ne da določiti.

### 4.5 Poganke

Sivorumena preperina iz vrtače pri Pogankah vsebuje 60% kremenca, 15% klorita, 10% plagioklaza, 8% muskovita, ter nekaj montmorillonita, rogovače in mikroklina. Tudi tu se izvor ne da določiti, vsekakor ni iz kamnin v okolici vrtače.



Slika 3: Mineralna sestava vzorcev

Fig. 3: Mineral composition of samples

Številka diagrama/ the number of diagram: 7. Stari Log, 8. Zalisec, 9. Lanževica, 10. Lepa Ruša, 11. Jama pod Ržjo 1, 12. Nad Kalvarijo

Minerali v vzorcih / minerals in samples: K- kremen/ quartz, Ca- kalcit/ calcite, D- dolomit/ dolomite, Pl- plagioklaz/ Na-Ca feldspar, Mi- mikroklin/ microcline, Mu- muskovit/ muscovite, Kl- klorit/ chlorite, I- illit/ illite, Ka- kaolinit/ kaolinite, G- goethit/ goethite, H- hematit/ hematite, L- lepidokrokrit/ lepidocrocite

#### 4.6 Žvirče

Večji odprt profil rumenega kremenovega peska pri Žvirčah vsebuje slabo zaobljena kremenova zrna, ki jih je okrog 80%. V vzorcu je nekaj tudi muskovita in goethita. Izvor kremenca tu ni mogoče določiti.

#### 4.7 Blatna dolina (Radoha)

Kalcita in kremenca je v vzorcu največ (vsakega malo manj kot 40%), dolomita in illita je malo (vsakega okrog 10%), zelo malo je klorita, v sledih je mikroklin.

#### 4.8 Polica (Grosuplje)

Vzorec rumenega plastnatega peska vsebuje največ kremenca (50%), sledita muskovit in mikroklin (vsakega po okrog 20%), kalcita in dolomita je malo (vsakega okrog 5%), v sledih je prisoten goethit.

### 5. Alpski kras

S področja Lanževice, Komne, in Triglava je bilo analiziranih več vzorcev. Podana je samo njihova mineralna sestava, ker so za določitev izvora mineralov potrebne še dodatne raziskave in analize.

#### 5.1 Lanževica

Pesek iz jame na pobočju vsebuje (slika 3/9) kremen, ki v vzorcu močno prevladuje (okrog 70%). Precej je tudi goethita (15%), nekaj hematita (okrog 8%), zelo malo je v vzorcu kalcita in lepidokrokita (obeh skupaj okrog 5%).

#### 5.2 Za Gradičem

Tu sta bila analizirana dva vzorca. V vzorcu peska (5.2a) močno prevladuje kremen (85%), malo je kalcita (okrog 10%) in zelo malo je kaolinita (manj kot 5%).

Siva pasovita ilovica (5.2b) vsebuje največ kremenca (75%), nekaj je tudi muskovita (15%) in kaolinita (10%), v sledovih je plagioklaz.

#### 5.3 Podrta gora

Peščenjak vsebuje največ kalcita (50%), sledi mu kremen (45%), malo je pa tudi goethita, klorita in kaolinita.

#### 5.4 Komna (Suha)

V vzorcu je skoraj samo kremen, v sledih so prisotni illit, klorit in kalcit.

#### 5.5 Lepa Ruša

Največ je v peščenjaku kremenca (40%), po količini mu sledi kalcit (30%), precej je tudi dolomita (15%) in goethita (10%), malo je kaolinita in muskovita (skupaj okrog 5%). Mineralna sestava je razvidna iz slike 3/10.

#### 5.6 Planika

Daleč največ je v vzorcu kalcita (70%), precej manj je kremenca (20%), zelo malo je goethita, dolomita in kaolinita ter plagioklaza.

### 5.7 Kredarica

Kalcit in kremen sta v peščenjaku s Kredarice zastopana približno v enaki količini (vsakega okrog 40%) in tudi prevladujeta. Kar veliko je tudi dolomita (15%), malo je goethita (5%), v sledih je pa prisoten kaolinit.

### 5.8 Jama pod Ržjo

V jami pod Ržjo sta bila analizirana dva vzorca. Rdeči peščenjak (5.8a) vsebuje največ kalcita (40%), sledi mu kremen (35%) in dolomit (20%), nekaj je tudi kaolinita in hematita (skupaj okrog 5%), v sledovih nastopajo goethit, mikroklin in klorit (slika 3/11).

V rumenem vzorcu (5.8b) je največ kalcita (50%), po količini mu takoj sledi kremen (40%), malo je kaolinita (dobrih 5%) in dolomita (manj kot 5%), v sledovih je klorit.

### 5.9 Nad Kalvarijo (Kredarica)

V vzorcu sive ilovice je največ kremena (60%), po količini mu sledi kalcit (20%), nekaj je tudi dolomita, kaolinita in illita, v sledovih sta klorit in plagioklaz (slika 3/12).

## SKLEP

Glede na mineralno sestavo mehanskih sedimentov na krasu lahko sklepamo na izvorno področje materiala, ki jih sestavlja. Dolgo časa je veljalo, da so sedimentne zapolnitve na krasu samo nekarbonatne sestave in da je glavni mineral v njih kremen. Vendar je iz rezultatov analiz razvidno, da se predvsem v jamskih sedimentih, lahko tudi ostalih, ki imajo izvor na nekarbonatnem zaledju, močno zviša delež karbonatnih mineralov. To se predvsem opazi med primerjavo mineralne sestave peska in ilovice iz Postojnske jame (slika 2/1) in peska iz izvira Malnov (slika 2/3). Gre za karbonatni drobir, ki ga voda erodira na poti skozi kraško podzemlje ali spere s pobočij okrog različnih kraških depresij. Če je okolje iz apnenca, najdemo v mehanskem sedimentu povišan delež kalcita, če je iz dolomita pa večji delež dolomita. Velika ledenica v Paradani je na primer v jurskih apnencih in dolomitih, zato v pesku pod stopnjastimi brezni najdemo v pesku dolomit in kalcit v približno enakem deležu (sliki 2/5 in 2/6).

Mineralna sestava vseh vzorcev je prikazana na sliki 4. Nekateri vzorci imajo primerljivo mineralno sestavo, zato lahko pripadajo istemu izvoru, ki je glede na dano mineralno sestavo včasih določljiv včasih pa ne. Na primer primerljivi so vzorci 5.5, 5.7, 5.8a in 5.8b ali pa 5.2a in 5.4. Glede na mineralno sestavo z že narejenimi analizami ne moremo določiti izvora ne celotnega sedimenta in ne kremena v njih. Kalcit v njih nastopa kot cement ali pa z dolomitom izvirata iz apnencev in dolomitov okrog nahajališč vzorcev.

Velikokrat minerali v mehanskih sedimentih na krasu kažejo na njihov izvor iz okoliških karbonatnih in nekarbonatnih kamnin. Večji sedimentni pokrovi so glede izvora težko določljivi, predvsem zato, ker v njih najdemo kot prevladujoč mineral kremen, ki je eden najbolj obstojnih mineralov pri preperevanju. Tako je kremen lahko končni produkt preperevanja cele vrste različnih kamnin in tako magmatskih, metamorfnih in sedimentnih. Minerali klorit, kaolinit, illit, goethit, lepidokrokrit in hematit so tudi lahko produkti prepe-

	K	Ca	D	Pl	Mi	Mu	Kl	I	Ka	Ru	An	Cr	Ci	T	Im	A	H	L	B	Ap	R
1.1	□	○		•				•	x												
1.2	△	△		-		x	-	-	-												
1.3	-	■						-	-								•		-		
1.4	□	-		-	x	-	-	-	•												
1.5a	△	○	-	-			-	x	x	-											
1.5b		■						-	•	•							•				
1.6	□	-	-	x		x	-	-	-												
1.7	x	□	-	-		-		-	-												
1.8	□			-			-	-	-												
1.9	△		△					-	-	-									-		
1.10	△	x	○				-	-	-	•							•		-	-	
1.11	○	□						-	-										-	-	
1.12	○	○	△		•		-	-	-										-		
2.1	•																			■	
2.2a	□			-	-				○	-	-		-		x						
2.2b		△	△				-		-	-	-	-	-								
3.1	△				-	x	-		-	x	x	x	x	-					•		
4.1	□	○	○	x	-	x	-		-	-	-	-	-							-	
4.2	□	-	-	-	-	○	x		-												
4.3	■				•	-	-	-	x												
4.4	□					x	-		-												
4.5	□			x	-	x	○		-											-	
4.6	■					-	-		-												
4.7	△	△	x	•		○	-	x													
4.8	△	-	-		○	○			•												
5.1	□	-							○								x	-			
5.2a	■	x							-												
5.2b	□			•		○			x												
5.3	△	△					-		-	-											
5.4	■	•					•	•													
5.5	△	△	○			-			-	x											
5.6	○	△	-	-					-	-											
5.7	△	△	○						•	-											
5.8a	△	△	○		•	•			•												
5.8b	△	△	-			•			-												
5.9	□	○	-	•		•		-	-												

1 • 2 - 3 x 4 ○ 5 △ 6 □ 7 ■

Slika 4: Pregled mineralne sestave v vseh vzorcih

Fig. 4: Review of mineral composition in all samples

Minerali v vzorcih/ minerals in samples: K- kremen/ quartz, Ca- kalcit/ calcite, D- dolomit/ dolomite, Pl- plagioklaz/ Na-Ca feldspar, Mi- mikroklin/ microcline, Mu- muskovit/ muscovite, Kl- klorit/ chlorite, I- illit/ illite, Ka- kaolinit/ kaolinite, G- goethit/ goethite, Ru- rutil/ rutile, An- anataz/ anatase, Cr- kromit/ cromite, Ci- cirkon/ zircon, T- turmalin/ tourmaline, Im- ilmenit/ ilmenite, A- ankerit/ ankerite, H- hematit/ hematite, L- lepidokrokrit/ lepidocrocite, B- boksitni minerali/ boxite minerals, Ap- apatit/ apatite, R- rogovača/ hornblende

Delež mineralov v vzorcu/ percent of minerals in sample: 1- sled/trace, 2- do/to 5%, 3- do/to 10%, 4- 10% do/to 30%, 5- 30% do/to 50%, 6- 50% do/to 80%, 7- 80% do/to 100%

revanja različnih kamnin. Ali so pa produkti diageneze samega mehanskega sedimenta v različnih okoljih, in nam o samem izvoru materiala nič ne povejo. Glede na zaobljenost posameznih mineralnih zrn v takih pokrovih lahko sklepamo na to, ali je nastal na mestu iz neznane izvirne kamnine ali je z vodnim tokom prinešen od nekje daleč.

Izvor posameznih sedimentov in mineralov v njih je v mnogih primerih neznan ali težko določljiv, zato bo potrebno narediti še precejšnje število različnih analiz in primerjav.

## LITERATURA

- Brodar, S., 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska nahajališča v Postojnski jami. *Acta carsologica*, 4, 55–183, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1969: Raziskovanje Velike in Male Karlovice, Naše jame, 10, 61–66, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerknškega jamskega sistema. *Acta carsologica*, 5, 109–169, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1971a: O nekaterih jamah ob Cerknškem jezeru. Mladinski raziskovalni tabori, 2, Gibanje znanost mladini, 49–64, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1971b: O nekaterih ponorih na Cerknškem jezeru. Naše jame, 12, 43–51, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami. *Acta carsologica*, 6, 327–366, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. *Acta carsologica*, 7, 5–135, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1979: Kraški pojavi Cerknškega polja. *Acta carsologica*, 8, 11–162, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1980a: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. *Acta carsologica*, 9, 91–110, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1980b: Škocjanske jame. Vodnik ekskurzij 6. jugoslovanski simpozij HIG, 5–8, Portorož.
- Gospodarič, R., 1981: Fosilne poplave na krasu. Naš krš, 87–93, Sarajevo.
- Gospodarič, R., 1982a: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja. *Acta carsologica*, 10, 157–171, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1982b: Stratigrafija jamskih sedimentov v Najdeni jami ob Planinskem polju. *Acta carsologica*, 10, 173–195, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1983: O geologiji in speleogenezi Škocjanskih jam. *Geološki zbornik, Razprave–poročila*, 4, 163–172, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1984a: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam. *Acta carsologica*, 12, 27–48, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1984b: Starost jamskih sedimentov v jamah Dinarskega krasa Slovenije. 9. jugoslovanski speleološki kongres, 225–229, Zagreb.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce. *Acta carsologica*, 13, 5–36, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1989: Paleoclimatic record of cave sediments from Postojna karst. *Annales de la Societe Geologique de Belgique*, 91–95, 112, fasc. 2, Liege.
- Gregorič, V., 1969: Nastanek tal na triadnih dolomitih. *Geologija* 12, 201–230, Ljubljana.
- Hrovat, A., 1953: Kraška ilovica. Državna založba, 1–91, Ljubljana.



- Istenič, M., 1987: Geokemična primerjava ilovic v Taborski jami s tlemi v okolič. Diplomaska naloga, Geološki odsek Montanističnega oddelka FNT, 1-85.
- Krauskopf, K.B., 1982: Introduction to geochemistry. McGraw-Hill, 1-601, Singapur.
- Osole, F., 1961: Parska golobina, paleolitska postaja v Pivški kotlini. Razprave 4. razreda SAZU, 6, 437-498, Ljubljana.
- Pettijohn, F.J. & Potter, P.E. & Siever, R., 1972: Sand and Sandstone. Springer-Verlag, 1-618, Berlin, Heidelberg, New York.
- Šušteršič, F., 1976: Kvartarni sedimenti v zasutih breznih notranjskega krasa. Diplomaska naloga, Geološki odsek Montanističnega oddelka FNT, 1-91.

### MINERAL COMPOSITION OF MECHANICAL SEDIMENTS FROM SOME PARTS ON SLOVENIAN KARST Summary

Regarding the mineral composition of mechanical sediments on karst the provenance of the material can be determinate.

A long time the opinion prevailed that the sediment filling on the karst is just made of noncarbonate minerals and that the main mineral is quartz. But from the results of analyses is seen that in many cases the percent of carbonate minerals in the mechanical sediments is relatively big. The review of mineral composition from all samples is shown on figure 4.

The origin of calcite and dolomite in sand and loam is in the particles of limestones and dolomites which were eroded from cave walls by underground water current. This is well seen on figure 2, where the percent of the calcite is low in the sand in Postojna cave and much higher in the sand in spring of Malni. The other exemple is in the Velika ledenica in Paradana where two different kind of mechanical sediments were found. The first is sandstone in the entrance of the cave. The mineral composition is shown on the figure 2/5. The origin of this sediment is unknown, but well rounded grains of quartz allude to eolian origin. The second kind is the sand from the bottoms of the pits. This sand consists almost entirely of dolomite and calcite (fig. 2/6), as the cave developed in Jurassic dolomites and limestones.

In many cases the origin of minerals in mechanical cave and surface sadiments on the karst is local, originating from the nearby rocks. But in larger sediment nappes it is very hard to determine the minerals origin. Specially if the quartz is the main mineral as it is well known that quartz is one of the most resistant mineral on weathering. It can be the weathering rest of different rocks, like magmatic, metamorphic and sedimentary. In many cases minerals like chlorite, kaolinite, illite, goethite and hematite are found in the mechanical sediments. They also may be products of different rocks weathering or they are formed during diagenesis of the sediment.

The origin of single sediments and minerals in them is in many cases unknown or very difficult to define. So a lot of analyses and comparisons are necessary to be done.

**A SHORT HISTORICAL REVIEW OF CAVE MINERAL  
EXPLORATIONS IN SLOVENIA BEFORE 1930**

**KRATEK PREGLED RAZISKOVANJA JAMSKIH  
MINERALOV NA SLOVENSKEM PRED 1930**

**ANDREJ KRANJC**

**Abstract**

UDC 551.44(497.12)(091)

**Kranjc, Andrej: A short historical review of mineral explorations in Slovenia before 1930**

First two cave minerals, mentioned in our literature, were calcite and ice formations. These two minerals interested Valvasor (1689) in particular. First more important descriptions derive from the 19<sup>th</sup> century (Hohenwart 1830-1832; Schmidl 1854). In the second part of the 19<sup>th</sup> century the mineralogical terminology in the slovenian language started to develop. Erjavc translation of Fellöcker's textbook (1867) and his later original work (1883) are the most important milestones. With works of Perko (1926, 1927) and Kunaver (1922) the modern times began.

Key words: karstology, speleology, cave mineral, history of speleology

**Izvilleček**

UDK 551.44(497.12)(091)

**Kranjc, Andrej: Kratak pregled raziskovanja jamskih mineralov na Slovenskem pred 1930**

Prva dva jamska minerala, ki sta omenjena v naši literaturi, sta kalcit in ledene tvorbe. Zlasti Valvasor (1689) se je zelo zanimal zanju. Prvi pomembnejši opisi so znani iz 19. stoletja (Hohenwart 1830-1832; Schmidl 1854). V drugi polovici 19. stoletja se je začela razvijati slovenska mineraloška terminologija. Erjavčev prevod Fellöckerjeve šolske knjige (1867) in njegovo kasnejše originalno delo (1883) sta najpomembnejša mejnika.

Z deli Perka (1926, 1927) in Kunaverja (1922) se začne moderna doba.

Ključne besede: krasoslovje, speleologija, jamski minerali, zgodovina speleologije.

**Naslov - Address**

dr. Andrej KRANJC, viš. znanstv. sodel. SAZU,  
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU,  
66230 Postojna Titov trg 2  
Slovenija

The lecture was held on the International Symposium Minerals in Karst Caves, Postojna, May 7-8, 1992

First two cave minerals appearing in our literature, were calcite and ice formations, mentioned by VALVASOR (1689). Namely Valvasor was interested in minerals in general, specially in minerals occurring in Carniola. The XXIX. chapter of his III. book is entirely dedicated to minerals (FANINGER, 1990).

As VALVASOR was very interested in caves, he wrote relatively a lot about flowstone and ice in caves, including flowstone growth and age. The best known is figure in his "Die Ehre ..." (I, 535), depicting speleothems as fantastic animals and human figures. These pictures are described in Valvasor's text too: "... there is stone figure or sculpture showing weaver at work, in the other corner ... there are hanging bacon, shoulders, hams, sausages etc. and they are natural and original, only petrified." And further on: "... elsewhere are numerous columns shaped so strange, that one can see different vermin, snakes and other animals, different monstrous figures and deformed faces, phantoms...". These pictures and text are probably the reason of thought that Valvasor saw petrified and mythological beings in speleothems, which were stroke by "the breath of evil spirit", in short, that could be a proof of Valvasor's superstition.

But this is not true, if we read his work with due attention. Valvasor himself said: "Similar petrified objects (concrementa) of different kind one can find in big number in many underground caves and holes here in Carniola. This is nothing else than the play of the nature, because petrifications do not originate neither by devil's breath nor by earthquake, but they are growing slowly from the dripping water (aqua stillantis)." (REISP, 1987, 73).

Valvasor was not satisfied with simple statement, that speleothems are "petrified dripping water", which is in principle true and right, he was interested in flowstone as a type of stone. He boiled flowstone in the water, in the salted water, in the salt-ammoniac and he even burnt it (I, 487).

From the literature and from his field observations Valvasor knew that there are caverns where flowstone deposits extremely fast. Thus he mentioned such cave in Hungary and the cave near Tours in France (actually called Savonnière) where water-drops falling from the ceiling transformed into the "stone nuts, almonds and other unusual forms" (I, 565), similar to fossils which he has found near Kropa in Gorenjsko. The process of flowstone deposition was not very clear to him, which can be seen from the fact that among the petrifications he mentioned also "petrified sodomite couple" near Tezrim in Africa, where in the middle of the meadow it is possible to see "complete figure of the man performing loathsomeness with the she-ass" (I, 486).

Valvasor mentioned also the growth of speleothems, the rate of speleothem growth respectively. In the Jama pri Predjami he noticed 70-80 years old inscriptions with thin cover of flowstone over them, thin as a knife-blade, in some other places those rocks (= concretions) have grown for the thickness of a

man's finger in the time of 20 years. From these observations he made conclusions that some bigger speleothems has to be pretty old, at least 300 - 400 years, some of them even few 1000 years (I, 484). As it can be seen from the articles concerning this topic, modern investigations show that the last speleothem generations in our caverns began to form in the beginning of the Holocene, about 10.000 years ago.

Even ice and ice stalagmites seemed interesting to Valvasor. He wanted to find out if it is normal ice, as "the surface one" or some sort of underground speciality. In the Ledenica (= Ice cave) pod Taborom he found ice stalagmites which were like winter icicles, with the only difference that in the cave they were much thicker and that they occurred there during the summer but there are none of them during the winter. To be sure, he took out of the cave the piece of ice and he found out that it is melting like ordinary ice.

I am speaking little more about Valvasor because he was the first and because he had, specially for his time, interesting and even modern ideas. Hundred years later B. HACQUET (1778-1789) wrote about the dissolution of limestone, he even proved it by the aid of hydrochloric acid. What he thought about the second part of the cave minerals formation - the mineralisation of calcite from the solution, is not precisely known and detailed study of his work from this point of view is highly recommended.

F. HOHENWART began to excavate fossil fauna in Postojnska jama, soon after the discovery of its inner parts; he published detailed description of the cave (1830-1832) and was very interested in speleothems too. In his work he described the formation, the colours and the age of the flowstone. As the great benefactor of the Land's Museum in Ljubljana, he made donations of his collections to it. At the beginning already (in the year 1831) Ljubljana Museum has the collection of 116 speleothems and 46 aragonites, which were European rarity. In SCHMIDL's basic speleological work (1854) there is a special chapter from the author W. ZIPPE entitled "Einige geognostische und mineralogische Bemerkungen über den Höhlenkalkstein des Karst" dedicated to minerals. The author writes about carbon acid in the atmosphere, about iron oxides and flowstone in general. For him it was already clear that speleothems are formed by the limestone, deposited out of the water, and that stalactites have tube in the middle. Also the nucleus of cave pearls and different calcite crystal forms (so called Krystallform R) are mentioned.

In 19<sup>th</sup> century together with the investigations and advanced inventory of cave minerals the mineralogical terminology in slovenian language was developed in the lands which are nowadays Slovenia. ERJAVEC translation of FELLÖCKER's textbook (1867) and later his original work (1883) are the most important milestones. In the last mentioned book Erjavec stated that when the water drops coming through the limestone rock reach the open air, the lime in it hardens and deposits in the form of "Kalksinter" or "Tropfstein", sometimes in the form of nice crystal even.

Speleological works of KRAUS (1894) and later of KUNAVER (1922) and PERKO (1926, 1927) treat cave minerals in relatively modern way already, although one cannot speak of serious investigations of cave minerals in Slovenia before the end of the 2nd World War. For the conclusion I would like to say that on one side we can be proud that with ERJAVEC's analyses of cave loam we were on the World's level of investigations, but on the other side we can still read in our modern primary school textbooks (BINTER, 1974) that the

(only) reason of flowstone formation is water evaporation. I strongly hope that one of the results of this symposium would be also the popularization of the knowledge of cave minerals, of their origin, development, worth and their fragility.

### VIRI IN LITERATURA

- Deschmann, C., 1862: Berücht über die bei den monatlichen Versammlungen der Mitglieder in den Jahren 1858 und 1859.- Drittes Jahreshft d. Vereines d. Krain. Landes-Museums, 219-236, Laibach
- Erjavec, F. /Fellöcker, S., 1867: Rudninoslovje ali mineralogija za niže gimnazije in realke.- Matica slovenska, Ljubljana
- Erjavec, F., 1883: Prirodopis rudninstva ali mineralogije.- Kleinmayr & Bamberg, Ljubljana
- Faninger, E., 1990: Valvasor in mineralogija.- Valvasorjev zbornik, 161-164, Ljubljana
- Hacquet, B., 1778-1789: Oryctographia Carniolica oder physikalische Beschreibung des Herzogthums Krain, Istrien und zum Theil der benachbarte Länder.- Vol. I-IV, Leipzig
- Hohenwart, H., 1830-1832: Wegweiser für die Wanderer in der berühm. Adelsberger und Kronprinz Ferdinands Grotte bei Adelsberg in Krain.- H. I-III, Laibach, Wien
- Kunaver, P., 1922: Kraški svet in njegovi pojavi.- Pp. 104, Ljubljana
- Perko, G. A., 1926: Das Alter der gestürzten Säule in der weltberühmten Adelsberg-grotte.- La Riviera del Carnaro, IV, 7, 1, Fiume
- Perko, I. A., 1927: La storia delle stalattiti.- Le Grotte d' Italia, 1, 7-11, Trieste
- Reisp, B., 1987: Korespondenca Janeza Vajkarda Valvasorja z Royal Society.- Korespondenca pomembnih Slovencev, SAZU, 8, pp. 113, Ljubljana
- Schmidl, A., 1854: Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas.- Pp. 316, Wien
- Valvasor, J.W., 1689: Die Ehre des Herzogthums Crain.- 1, 1-696, Laibach - Nürnberg

### KRATEK PREGLED RAZISKOVANJA JAMSKIH MINERALOV NA SLOVENSKEM PRED 1930

#### Povzetek

Prva dva jamska minerala, ki sta omenjena v naši literaturi, sta kalcit in ledene tvorbe. Zlasti Valvasor (1689) se je zelo zanimal zanju, vendar o teh dveh mineralih pišejo tudi drugi starejši avtorji. Prvi pomembnejši opisi so znani iz 19.stoletja (Hohenwart 1830-1832; Schmidl 1854). V drugi polovici 19.stoletja se je začela razvijati mineraloška terminologija v deželah, ki danes sestavljajo Slovenijo. Erjavčev prevod Fellöckerjeve šolske knjige o mineralogiji (1867) in njegovo kasnejše originalno delo (1883) sta najpomembnejša mejnika. Sočasna speleološka dela (Kraus 1894) tudi obravnavajo jamske minerale, a že na bolj sodoben način.

Z deli Perka (1926, 1927) in Kunaverja (1922) se začenja moderna doba. Tako smo po eni strani lahko ponosni, da smo bili z Erjavčevimi analizami jamske gline v prejšnjem stoletju na svetovni ravni takih raziskav, na drugi strani pa prav naši šolski učbeniki, ki so bili še pred kratkim v uporabi, uče, da se siga v jamah odlaga zgolj zaradi izhlapevanja.

**MINERALS IN THE KARSTIFIED TRIASSIC  
OREBEARING CARBONATE ROCKS OF THE  
NORTHERN KARAVANKE**

MINERALI V ZAKRASELIH TRIASNIH RUDONOSNIH  
KARBONATNIH KAMNINAH SEVERNIH KARAVANK

SUZANA FAJMUT ŠTRUCL - IVO ŠTRUCL



**Abstract**

UDC 552.54:551.761(234.323.61)

**Fajmut Štrucl, Suzana & Ivo Štrucl: Minerals in karstified triassic orebearing carbonate rocks of the Northern Karavanke**

In the Mežica deposit two kinds of mineralizations can be distinguished according to their age, the Triassic and post-Triassic one. The first mineralizations are sedimentogenic (sedimentary - diagenetic), and the second were formed by migration of ore substances into younger (post-Triassic) tectonic structures within the orebearing Wetterstein limestone. The most important of the latter are the ores in the mineralized Union faults, which are treated in the present article as mineralization phenomena of karstic processes.

**Izvleček**

UDK 552.54:551.761(234.323.61)

**Fajmut Štrucl, Suzana & Ivo Štrucl: Minerali v zakraselih triasnih rudonosnih karbonatnih kamninah Severnih Karavank**

V mežiškem rudišču ločimo po starosti dva sistema orudenenj - triasnega in posttriasnega. Prvi je sedimentogenega porekla, drugi pa je nastal s premeščanjem rudnih snovi znotraj rudonosnega wettersteinskega apnenca v mlajše (posttriasne) tektonske strukture. Najpomembnejši med slednjimi so orudence unionske prelomnice, katerih orudenj v pričajočem sestavku obravnavamo kot mineralne posebnosti kraških procesov.

**Address - Naslov**

Suzana Fajmut Štrucl,  
Rudniki svinca in topilnica Mežica  
62392 Mežica - Slovenija

Dr. Ivo Štrucl, znanstveni svetnik v pok.  
Mrvovo 17  
62392 Mežica - Slovenija

## INTRODUCTION

In the Mežica mines there are more than 800 km of galleries. The highest ones (the Knieps pits on the Peca mountain) are on an altitude of about 2060 m, and the lowest ones on 270 m in the Graben district near Žerjav, 230 m below the lowest karst spring of the area.

The Mežica mines certainly cannot be considered as karst caves, which, however does not mean that they are of no interest to karst explorers. Missing are in fact only huge caverns with speleothem formations, but various other karst phenomena, mineral in particular, can be found instead.

More than 90 % of the mine workings (adits, galleries, pits, drifts and stopes) are driven in the Wetterstein limestone of Ladinian-Carnian Age, and the rest are in Carnian and Norian beds.

The 1000 to 1200 m thick succession of the Wetterstein beds consists of various types of limestone and dolomite. Pure limestone is scarce. As a rule some dolomite is present either in the form of dispersed crystals and crystal aggregates, or of diagenetic cement in pores and fissures. Often also the opposite is true, in the dolomite matrix the fissures are cemented by calcite.

Wetterstein limestone is strongly fractured and karstified, especially on the Peca and Mala Peca mountains (see Fig.1). The fissures originated mostly during the Alpidic orogenesis, but certain also during diagenesis or Triassic paleokarstic processes.

In the present contribution we shall limit ourselves to the so-called system of orebearing Union faults that were generated during and after the Alpidic orogenesis.

## ABOUT THE SYSTEM OF UNION FAULTS

The Union faults appear in the whole area of the Northern Karavanke, but the most interesting ones are in the central Mežica mines, not only because of lead and zinc mineralization, but also because of karst processes developed in them. The most imposing and conspicuous on the surface is the Sumah fault with the orebodies of Staro Igercevo. The faults in generally strike N-S with small deviations to NE or to NW, and they dip from 25 to 80. In the upper parts of the mine the dip is steeper (50-80), and in the lower parts more gentle (25-50).

The width of the fissures differs from place to place. Commonly they are only some millimetres to several decimetres wide, but sometimes they spread to a few metres. Prior to mining almost all of these orebearing faults and fissures were below the groundwater level, and therefore flowstones and speleothems

could not be formed in them. Instead, the fissures were cemented with large amounts of middle and very coarse grained calcite, sometimes also with beautiful calcite druses.

Besides calcite there is a lot of other minerals like galena, sphalerite, pyrite, melnikovite-pyrite, marcasite and various oxide minerals of lead, zinc, iron, manganese and molybdenum among which wulfenite is the most important.

### THE MINERAL COMPOSITION OF OREBEARING UNION FAULTS

The mineralization of the Union system is different from leadzinc sedimentary - diagenetic mineralizations of the Karavanke district chiefly in large quantities of calcite. In general the veins of Triassic orebodies are composed 90-95% of dolomite and only 10-5% of calcite, while this relation in the ore bodies of the Union system is just opposite. In the Union system we find predominantly milky white or grey calcite, the latter of light to dark shades. Often the calcites are yellowish or yellowbrown colour. The colour of calcite mostly depends on various inclusions or different types of coating on it. Inclusions and coatings can be composed of galena, cerussite, pyrite, limonite, wulfenite, clay or mudstone. In calcite crystals sometimes occur millimetric inclusions of limestone and dolomite. Grey calcite with larger amounts of isomorphically admixed galena is called plumbocalcite. Calcite is usually coarse or middle grained, and occasionally very coarse grained. The grains are intergrown in mosaic structure. In fissures, caves and in geodes which are not completely cemented beautiful calcite druses with several cm large calcite crystals can be found.

Calcite occurs in different shapes of the hexagonal-trigonal system (see Fig. 2 and 3). The most common habits are tabular, prismatic, acute or obtuse rhombohedral, and scalenohedral (dogtooth spar). Twinning is commonly according to two main laws; in the first the twin plane is the basal pinacoid, and in the second the twin plane has a rhombohedral face.

When talking about calcite from the Union fault system we must be careful about its origin. We must distinguish calcite which originated in sedimentary and diagenetic processes from calcite which formed through epigenetic processes. The last one was formed by recrystallization of limestone or by precipitation from meteoric respectively underground water.

Many years ago some geologists believed that calcite had been formed indeed at different times, but within a single, for example the hydrothermal-metasomatic process. Each of the mentioned processes includes more than one generation of calcite. They have distinct structure characteristics, grain sizes and isotopic compositions.

The data of isotopic composition of different types of calcite are represented in Table 1. The original data are taken from the reference in T.DOLENEC et al.(1983).

The isotopic composition is given in relative values with respect to standards SMOW (CRAIG, 1961) and PDB (CRAIG, 1957).

Aragonite is usually found in old drifts and stopes. In general it is of recent origin, always younger than mine workings. It occurs in various flowstone formations, as encrustations and speleothems. Hydrozincite is also often a component of flowstones. Various color shades of flowstone indicate the

*Tabele 1. Isotopic Composition of Oxygen and Carbon from various calcites in the Union district*

	O <sup>18</sup> (SMOW) in ‰	C <sup>13</sup> (BDB) in ‰
early and late diagenetic calcite	+20.45 - +27.12	+2.20 - +3.35
late diagenetic calcite	+19.26 - +22.90	+1.95 - +2.86
gangue calcite in association with ore minerals	+11.01 - +23.40	-5.32 - +3.02
calcite I in association with wulfenite	+09.06 - +15.02	-4.27 - +2.17
calcite II in association with wulfenite	+20.35 - +21.80	-4.59 - -2.42

presence of admixed limonite, clay etc. Older aragonite crystals, respectively pseudomorphs of calcite after aragonite, were found only in the Fridrih district. These are several mm long needles which grew of dendritic crystal druses (see Fig. 4).

Wulfenite (Fig.5) is also a typical mineral of the orebearing Union faults, although we find it in traces everywhere in the Mežica mine. However, within the system of Union faults more than 70 important occurrences of wulfenite were found, while in the primary interstratified orebodies only about ten of them, and the mineral quantity in them is not worth mentioning. With wulfenite occur always also other oxide minerals like cerussite (Fig.6), limonite, hydrozincite (Fig. 7) and descloizite. Of sulfide minerals only strongly oxidized and corroded galena (Fig 8) is generally present.

The most common habits of wulfenite crystals are tabular forms of various thickness from 0.2 to 1 mm, and sometimes pseudocubes, pyramidal or bipyramidal forms.

The origin of wulfenite is connected with oxidation or hydrotogenic processes, but the origin of molybdenum is still debatable.

For the alpine lead-zinc deposits with wulfenite the molybdenum is mostly believed to have originated in the Upper Triassic Carnian or Norian beds. Regarding the somewhat higher content of Mo in these rocks this might be right, but there are other opposing facts. Molybdenum mostly migrates in acid environment, while the pH of the present waters in Norian dolomite is from 7.0 to 8.6 ( the average value of 77 measurements is 7.8).

When considering the source of Mo for formation of wulfenite also the hydrological conditions in the Upper - Triassic rocks must be considered which are separated from the orebearing Wetterstein limestone with three horizons of impermeable mudstones and marls. Therefore it is easier to imagine the migration of molybdenum within the orebearing rocks only.

From the economical point of view the most important ore minerals are galena and sphalerite which are present in orebodies of the Union system in quite large amounts. The ratio of lead to zinc is about 2:1. Their presence was always the main problem in explanation of mineralization. It is known that galena is scarcely soluble either in water, acids or in alkaline solutions. Therefore a number of questions arises on migration of lead from the oldest mineralization into younger geological structures.

It is supposed that transport of ore took place in several forms: as true solution, colloid solution and suspension. For all forms in the Union system characteristic types of mineralization can be found. In this case we are thinking about appearances of melnikovite-pyrite and all kinds of colloform

ores. These ores have elements of deposition from colloid and true solutions. The only positive aspect is, that they are formed with alternating separation of different ore components on walls of fissures or caverns from cool solutions.

Similar colloform structures of ore components can be found also at hydrothermal springs – in black smokers on the sea floor. That means they can be formed also in other hydrothermal processes. In Cave di Predil (Rabelj) in Italy, the most famous colloform sphalerites were also connected with Tertiary fissures which strike like the Union faults.

The so-called schalenblende from the orebearing Union faults differs from similar ores of other systems. It contains less iron sulfides and less galena. It appears in fissures, caverns or in breccias where pieces of limestone or other rocks are encrusted with sphalerite.

Sphalerite occurs usually together with galena, but often also alone. Grained sphalerite contains low iron (0.07 to 0.3 %). The colour of sphalerite depends on the amount of iron; it ranges from pale yellowish brown, grayish orange to dark yellowish brown.

Galena appears in ores of the Union faults in different forms: in veins, in replacement textures and in cement of breccia. The grains are usually xenomorphic. They are idiomorphic only in the case when formed by breaking of bigger xenomorphic grains in the direction of cubic cleavage. In general galena is pure, but sometimes it contains some dolomite, sphalerite or pyrite inclusions. Fine grained galena occurs mostly in ore breccias which are composed in part of completely crushed material.

Pyrite and marcasite are rare minerals in the Union faults, especially with respect to other parts of the Mežica mines. There is also no framboidal pyrite present.

## HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS ON THE MEŽICA MINES

Although the underground waters were very important in the formation of secondary epigenetic mineralizations like those of the Union system, the explorers devoted too little attention to them. For this reason there are not enough exact chemical analyses.

While mining took place on higher levels, the underground waters from Peca, Mala Peca and Kranjcev vrh discharged like valley or typical karst springs. Such kinds of springs still exist in Wetterstein dolomite on the northern foot of the Karavanke. In the nearest surroundings of Mežica valley all springs have become dry.

Hydrological and hydrochemical conditions have changed several times during more than a hundred years of mining. The first hydrological changes at the Peca mountain and in the surrounding of the Mežica mines happened more than hundred years ago. The largest changes were caused by the Glancnik adit (+500 m), and later by other drifts and galleries below the level of +500 m. The piezometric level of underground water in the central mine has fallen for more than 350 m because of underground workings. At the same time hydrogeological conditions in other Triassic rocks did not change.

At the same time the chemical composition of underground waters changed too. Their present chemical composition is represented in Table 2.

Water samples were collected in November 1982. Analyses change from year to year, but the differences are clear. We can imagine that these differences were even bigger before mining activities. From this area more than 18 million tons of ores were mined, which corresponds to 870.000 tons of lead and 540.000 tons of zinc.

From the analyses we can calculate the extent of corrosion and migration of ore and other components. For example, on the basis of the analysis from the Moring district, at least 1.5 t of Zn metal and 189kg of Pb metal per year are washed yearly out of the mine with groundwater flowing on the average of 600 l/s. In the past these amounts could have been only higher.

*Table 2. Chemical composition of the groundwater in Triassic Wetterstein beds in the mine area and outside it*

Districts		Graben	Graben	Moring	Uršlja gora	
Altitude (m)		300	300	300	715	1030
Ca	mg/l	75.1	47.6	62.1	70.61	60.1
Mg	"	27.1	32.5	28.6	10.98	14.9
H CO	"	192	292	220	238	241
SO	"	111	35	71	16	13
Cl	"	2	2	2	2	2
K	"	1.2	1.5	1.2	2.3	0.2
Na	"	0.8	1.9	4.0	0.5	0.3
Zn	"	0.75	0.01	0.08	0.011	<0.01
Pb	"	0.03	0.01	0.01	<0.01	<0.01
pH		7.9	7.4	7.7	7.6	7.6
Tot.hardness	german	16.85	14.13	15.50	12.33	11.93
Ca hardness	"	8.82	13.37	10.08	10.92	11.06
Conductivity	μS/cm	547	454	508	401	371

## ORIGIN OF THE UNION FAULT MINERALIZATION

With regard to the Alpidic orogenesis the Union type of mineralization is of posttectonic or syntectonic origin. There is reliable evidence also of post-mineralization tectonic processes. Some can be seen with naked eye, for example tectonic mirrors, galena with lead tail structures and cataclasts of ore minerals; others can be seen by microscopic examination, which gives obvious indications of several phases of fracturing.

The origin of the orebearing Union faults has been considered a number of times at scientific meetings. One of them was in Mežica in 1964. Twenty experts from Austria, Italy, Germany and Yugoslavia took part in it.

The meeting was held at a time, when two conflicting scientific schools discussed the problem of genesis, either hydrothermalmetasomatic or

sedimentogenetic, of the lead-zinc ores in the carbonate rocks of the Calcareous Alps. The mineralized Union faults at that time attracted most attention, and at the same time presented most problems.

MAUCHER (1965), one of the first and also the most fervent defender of the sedimentogenic theory, at that time mentioned three possibilities for the origin of the Union faults mineralization:

1. They are connected with the primary influx of solutions into the sediments. Hence they are the filling of the feeding channels.

2. During diagenesis the movement of solutions occurred with the squeezing out of water. The water moving through the porous rocks dissolved the ores in the form of complex salts. The substance was transported by "hydrotogenic" solutions, descendant or ascendant, into areas of lowest pressure (fissures, caves in breccias, etc.). The substance migration could have been caused by descendant groundwater, and especially by thermal water.

3. Completely new hydrothermal solutions from other areas brought new substances. The veins were thus, by their genesis, separated from the primary ores in the sediments, and they originated from new solutions.

To MAUCHER (1965) the second alternative appeared the most probable. KOSTELKA (1965) who worked in the Mežica mines during the Second World War, saw in the Union faults the inflow channels of the Triassic sedimentary ores. I. ŠTRUCL (1965, 1971, 1984) at first spoke in favour of the third alternative, but shortly afterwards, he maintained that all younger mineralizations were formed by migration of ore substance either from the host-rock or from the Triassic ores.

Mineralizations of the Union system appear in post-Triassic tectonic structures. Tectonical processes had started when the Triassic rocks underwent over all phases of diagenesis, including the cementation of small fissures that were formed by compaction of the sediments. The start of tectonical processes is also younger than the dolomitization of the Wetterstein limestone.

At the end, also the question of the source of the solutions has to be answered, and on their nature - juvenile or vadose?

Calcitization can be explained by both ways, but with regard to the hydrological conditions in the Wetterstein limestone in case that there are no other typical hydrothermal changes, it is more possible that calcite had crystallized from vadose karstic water. This means that ore minerals (galena, sphalerite, wulfenite etc.) in calcite probably had been formed in the same way. The Union orebodies also do not show any changes of the mineral composition with depth, which is usually characteristic of hydrothermal orebodies.

Proceeding from the definition that karst is a territory owing to fissure permeability in the rocks underground (karstic) percolation of water with effective chemical dissolution processes takes place, and where typical surface and underground karst forms are present, we can consider also the mineralization of the Union System a karst phenomenon.

This does not mean that all the problems of formation of this type of mineralization have been solved. Without answers are still many questions from the domains of karstology, geomorphology and hydrology.

First the question of when the karst processes took place before or after Pliocene. It is also possible that karstification is a continuous process which

has been in course since the first denudation of the Wetterstein limestone until the present. In fact that the Union mineralizations are more or less tectonic disturbed, although they are the youngest, the main quantity of ore could be deposited before Pliocene, for example in Oligo - Miocene. At that time the tectonic processes along the Periadriatic Lineament have achieved the culmination, the magmatic activity also, and for these reasons the temperature gradient was certainly higher than at present.

Karst processes took place also in Pliocene and after it, until the destruction of the natural hydrological conditions by mine workings. At present, the karstic processes produce in this area various flowstone formations of calcite and aragonite in which appear also ore minerals - especially limonite and hydrozincite (see Fig. 9 and 10).

### REFERENCES

- Brigo, L., Kostelka, L., Omeneto, P., Schneider, H.J., Schroll, E., Schulz, O., Štrucl, I., 1977: Comparative Reflections on Four Alpine Pb-Zn Deposits. Time- and Strata-Bound Ore Deposits, Springer Verlag, 273-293, Berlin.
- Craig, H., 1957: Isotopic standard for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta* 12, 133-149.
- Craig, H., 1961: Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science* 133, 1833-1834.
- Dolenc, T., Kusej, J., Pezdič, J., 1983: 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.
- Grafenauer, S., 1962: Geneza vzhodnoalpskih svinčevih in cinkovih nahajališč. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 4, 313-322, Ljubljana.
- Kostelka, L., 1965: Observations and Ideas on the Lead-Zinc Mineralizations in the Calcareous Alps South of the Drava River. *Mining and Metallurgy Quarterly*, No.2, 43-52, Ljubljana.
- Maucher, A., 1965: Discussion on the Conference on the Genesis of the Lead-Zinc Ore Deposits in the Carbonate Rocks in Mežica. *Mining and Metallurgy Quarterly*, No.2, 63-65, Ljubljana.
- Štrucl, I., 1965: Some Ideas on the Genesis of the Karavanke Lead-Zinc Ore Deposits with special Regard to the Mežica Ore Deposit. *Mining and Metallurgy Quarterly*, No.2, 25-34, Ljubljana.
- Štrucl, I., 1971: On the geology of the Eastern Part of the Northern Karavanke with Special Regard to the triassic Lead-Zinc Deposits. *Sedimentology of parts of central Europe*, Guide book, VII. Int. Sediment. Congress, 285-301, Heidelberg.
- Štrucl, I., 1984: Geological and geochemical characteristics of ore and host rock of lead-zinc ores of the Mežica ore deposit *Geologija* 27, 215-327, Ljubljana.
- Zorc, A., 1955: Rudarsko geoloska karakteristika rudnika Mežica. *Geologija*, 3, 24-80, Ljubljana.



## MINERALI V ZAKRASELIH TRIASNIH RUDONOSNIH KARBONATNIH KAMNINAH SEVERNIH KARAVANK

Povzetek

Mežiske jame so dolge preko 800 km, najvišje so na višini 2060 m, to so Knepsove jame na Peci, najnižje pa so na nadmorski višini 270 m v Grabnu pri Žerjavu, kar pomeni, da so 230 m pod prvotnimi najnižjimi kraškimi izviri tega območja.

Mežiske jame sicer ne moremo obravnavati kot kraške jame, to pa še ne pomeni, da so za raziskovalca kraškega sveta nezanimive. V bistvu manjkajo le impozantne dvorane z večjimi kapniškimi tvorbami, zato pa najdemo namesto njih številne druge kraške zanimivosti, zlasti mineralne.

Preko 90 % rudarskih del (rovov, nadkopov, jaškov in odkopov) je v wettersteinskem apnencu ladinijsko-karnijske starosti, ostali pa so v karnijskih ali norijskih plasteh.

Wettersteinski apnenec je močno razpokan in zakrasel. Razpoke so povečini nastale med alpidsko orogenezo, deloma pa tudi med diogenezo ali med triasnimi paleokraškimi procesi. V pričajučem prispevku smo se omejili na takorimenovani sistem unionskih prelomnic, ki so nastale med alpidsko orogenezo.

Prelomnice tega sistema se pojavljajo sicer na celotnem območju severnih Karavank, toda zanimive so predvsem orudene prelomnice na območju centralnega rudišča mežiškega rudnika. Njihova splošna smer slemenitve je sever-jug.

Orudenjenja unionskega sistema so glede na alpskogorotvorno tektoniko v glavnem posttektonske narave, vendar večina od njih je bila pozneje podvržena poznejšim tektonskim deformacijam. O tem najdemo kar precej zanesljivih dokazov. Nekatere lahko ugotavljamo že s prostim očesom, na primer "tektonska ogledala", galenit s teksturo "svinčevega repa" in razne kataklaze rudnih mineralov, ostale pa z mikroskopskimi raziskavami. Te kažejo, da so unionska orudenjenja pretrpela več faz drobljenja.

Pred nastankom orudenenj in seveda tudi pred rudarjenjem so te razpoke bile pod nivojem podtalnice, kar pomeni, da se v njih niso mogle oblikovati sigaste in kapniške tvorbe, vendar so se namesto njih izločile sorazmerno velike količine debelozrnatega kalcita, razen kalcita pa še rudni minerali: galenit, sfalerit, pirit in melnikovitpirit ter še cela vrsta oksidnih mineralov svinca, cinka, železa, mangana in molibdena.

Od sedimentogenih orudenenj karavanskih svinčevo-cinkovih nahajališč se razlikujejo orudenjenja unionskega sistema zlasti po velikih količinah kalcita. Po grobi oceni sestoji žilnina primarnih triasnih orudenenj 90 do 95 % iz dolo-mita in le 10 do 5 % iz kalcita, medtem ko je to razmerje v orudenjenjih Unionskega sistema ravno obratno.

Pretežno imamo opravka z mlečnobelim in sivim žilnim kalcitom. Običajno je žilni kalcit srednje in debelozrnat, toda pogosto je tudi zelo debelozrnat. Zrna so med seboj zraščena v mozaično strukturo. V nepopolno zacementiranih razpokah, geodah in kavernah, najdemo tu in tam tudi zelo lepe kristalne kopuče v katerih so kristali tudi do nekaj centimetrov veliki.

Wulfenit je mineral, ki je precej tipičen za sistem unionskih prelomnic, pa čeprav ga najdemo v sledovih po vsem rudišču. V sistemu unionskih prelomnic je bilo registriranih preko 70 wulfenitnih nahajališč, v primarnih plastovnih orudenjenjih pa le okrog deset in še to z nepomembnimi količinami wulfenita. Z wulfenitom se skoraj vedno pojavljajo tudi drugi oksidni minerali, zlasti ce-

rusit, limonit, hidrocinokit in descloizit. Od sulfidnih mineralov je praviloma prisoten le močno korodiran in oksidiran galenit.

V ekonomskem pogledu sta seveda najbolj zanimiva galenit in sfalerit, ki se pojavljata v orudenjenjih unionskega sistema v sorazmerno velikih količinah in to v razmerju 2:1 v korist galenitu. Njuna prisotnost je glavni kamen spotike pri razlagah o nastanku mineralizacij unionskega sistema. Znano je, da je galenit zelo malo topen v kisljih in alkalnih raztopinah, da o topnosti v vodi niti ne govorimo. Zato so razlage o njegovi migraciji iz starejših orudenenj v mlajše geološke strukture še polne dilem.

Pirita je v unionskem sistemu v primerjavi s količinami le-tega v plastovnih orudenjenjih zelo malo. Enako velja za markazit, ki igra v unionskem sistemu sploh zelo podrejeno vlogo. Prav tako ni piritnih framboidov.

Hidrološke razmere so se v času večstoletnega rudarjenja sproti spreminjale. Glavne hidrološke spremembe v nedrih Pece in širšem območju mežiškega rudnika segajo več kot sto let nazaj. Spremenila pa se ni le piezometrijski gladina talne vode, spremenila se je tudi njena kemična sestava. Današnja je razvidna iz tabele 2.

Nastanek unionskih orudenenj je bil v preteklosti večkrat predmet živahnih znanstvenih razprav. A. Maucher (1965) je v zvezi z orudenjenji unionskega sistema omenil tri možnosti nastanka:

1. Da so v zvezi s primarnim dovodom raztopin v sedimentacijski prostor, to pomeni, da predstavljajo zapolnitve dovodnih poti.

2. Da so diskordantne žile nastale predvsem v zvezi s tektonskimi procesi, pri čemer ima njihova snovna vsebina izvor v primarnih rudah, transportirana pa naj bi bila s hidatogenimi raztopinami, descendentno ali ascendentno v območju najmanjših pritiskov (to je v razpokah in votlinah itd.). Do hidatogenih prenosov snovi pa naj bi prišlo že med diagenezo.

3. Da so žilna orudenjenja nastala genetsko ločeno od primarnih rud v usedlinah in, da imajo svoj vir v novih raztopinah.

Orudenjenja unionskega sistema se pojavljajo zanesljivo v posttriadnih tektonskih strukturah, zato za njih po vsej verjetnosti odpade razlaga o migraciji med diagenetskim strjevanjem usedlin. Ostane nam predvsem, da odgovorimo na vprašanje, odkod so prišle raztopine in kakšne so bile – juvenilne, ali vadozne. Kalcitizacijo je možno razlagati z obema, toda z ozirom na hidrološke razmere v wettersteinskem apnencu in odsotnosti drugih tipičnih hidrotermalnih sprememb, je večja verjetnost, da je kalcit kristaliziral iz vadoznih (kraških) voda, kar pa pomeni, da so na podoben način morali nastati tudi rudni minerali v kalcitu, naj gre za wulfenit, galenit ali sfalerit. Z ozirom na dejstvo, da so unionska orudenjenja, kljub temu, da so najmlajša, tektonsko precej prizadeta, je velik del rude in kalcita nastal pred pliocenom, verjetno v oligo-miocenu. Ker so se pa kraški procesi dogajali tudi v pliocenu in pozneje, se je mineralizacija unionskih prelomnic nadaljevala vse dokler z rudarskimi deli niso orušili naravne hidrološke razmere.

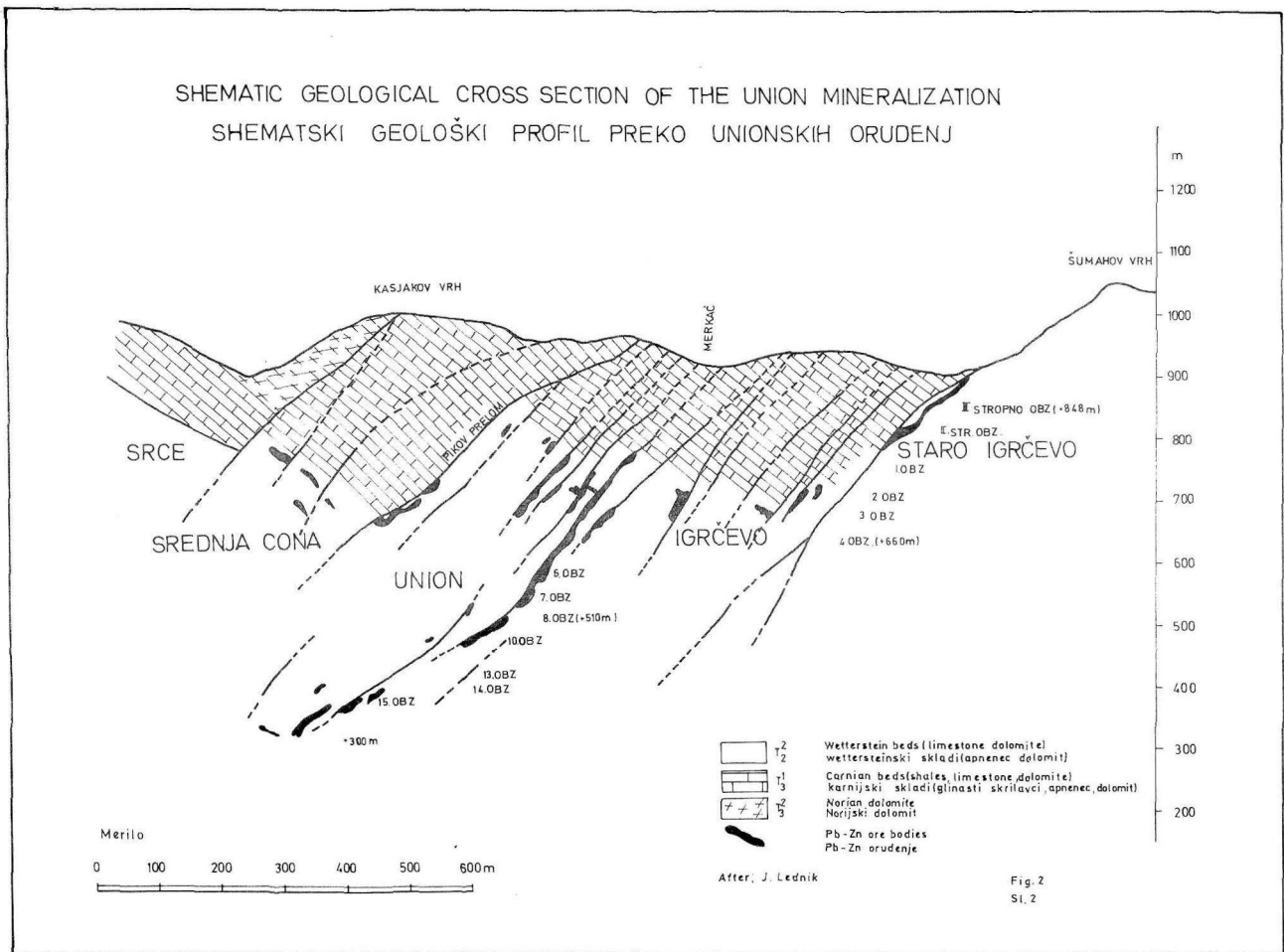


Fig. 2. Schematic geological cross-section of the Union mineralization.  
 Sl. 2. Schematic geological profile across the Union mineralization.



Fig. 1. Karstified surface on the Peca mountain.  
Sl. 1. Zakraselo površje Pece

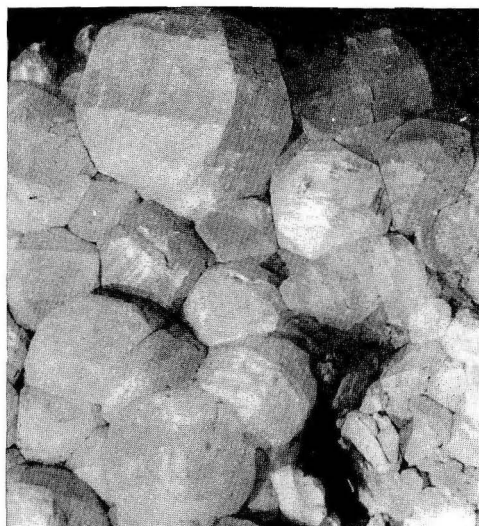


Fig. 3. Aggregate of milky white rhombohedral calcite crystals. 0.6 x.

Sl. 3. Skupen mlečno belih romboedričnih kristalov kalcita. Zmanjšanje 0.6 x.

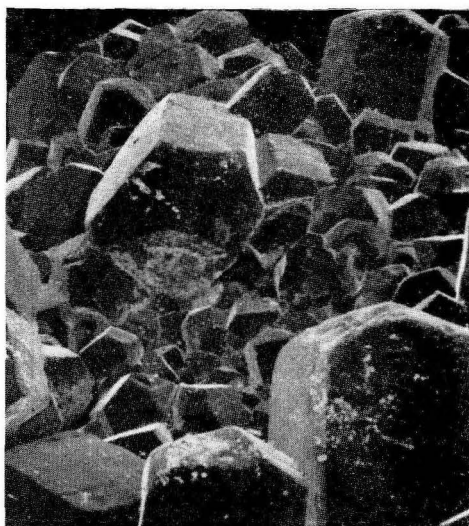


Fig. 4. Aggregate of greyish blue prismatic calcite crystals (without lead). 40 x.

Sl. 4. Skupen sivomodrikastih prizmatičnih kristalov kalcita (brez svinca). Povečava 40 x.



Fig. 5. Dendritic crystal druses of calcite probably after aragonite. 0,7 x.

Sl. 5. Dendritični kristalni skupek kalcita po aragonitu. Zmanjšanje 0,7 x.

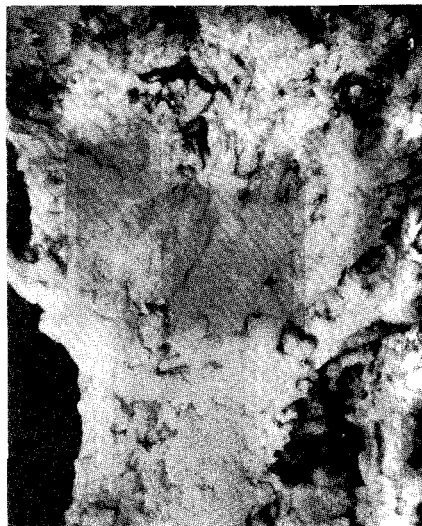


Fig. 6. Crust of fine grained brownish wulfenite crystals with corroded crystal planes on limestone. 48 x.

Sl. 6. Skorja na apnencu z drobnozrnatimi bledo rjavimi kristali wulfenita s korodiranimi kristalnimi ploskvami. Povečava 48 x.

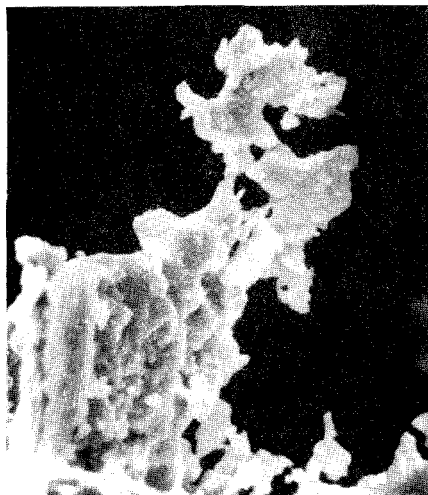


Fig. 7. Aggregate of transparent to very light grey fine grained cerussite crystals. 60 x.

Sl. 7. Skupek prozornih do zelo svetlo sivih drobnozrnatih cerusitovih kristalov. Povečava 60 x.

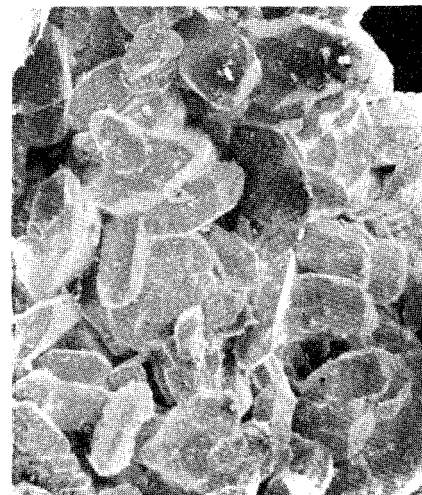


Fig. 8. Detail of intensively corroded galena which is typical for galena-wulfenite ores. 3100 x.

Sl. 8. Detajl močno korodiranega galenita tipičen za galenitno-wulfenitna orudnenja. Povečava 3100 x.

**NITROCALCITE IN KARTCHNER CAVERNS,  
KARTCHNER CAVERNS STATE PARK, ARIZONA,  
USA**

NITROKALCIT V KARTCHNERSKIH JAMAH, NARODNI  
PARK KARTCHNERSKIH JAM, ARIZONA, ZDA

CAROL A. HILL - ROBERT H. BUECHER

**Abstract**

UDC 552.54:551.44(791)

**Hill, Carol A. & Robert H. Buecher: Nitrocalcite in Kartchner caverns, State Park Kartchner caverns, Arizona, USA**

Nitrocalcite ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) is a deliquescent mineral, afflorescent only under very low humidity conditions. Brief mention of nitrocalcite as a cave mineral has been given for one cave in the southwestern United States and one cave in Italy. Nitrocalcite occurs in Kartchner Caverns as a cave cotton growing from sediment in scattered areas along the Entrance Passage where cold, dry, winter air flows into the Entrance Passage from the surface. The present article is the first authenticated, detailed description of nitrocalcite as a cave mineral.

Key words: cave mineral, nitrocalcite, Kartchner Caverns, United States of Amerika

**Izvleček**

UDK 552.54:551.44(791)

**Hill, Carol A. & Robert H. Buecher: Nitrokalcit v Kartchnerskih jamah, Narodni park Kartchnerskih jama, Arizona, ZDA.**

Nitrokalcit ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) je topljiv mineral, ki se pojavlja samo v zelo vlažnih pogojih. Bežna omemba nitrokalcita kot jamskega minerala je znana le za eno jamo v jugozahodnih Združenih državah Amerike in za eno jamo v Italiji. Nitrokalcit se pojavlja v Kartchner Caverns v obliki "jamskega bombaža" na sedimentih na nekaterih mestih vhodnega rova, kjer pozimi mrzel in suh zrak priteka vanj s površja. Pričujoči članek je prvi avtentični natančni opis nitrokalcita kot jamskega minerala.

Ključne besede: jamski mineral, nitrokalcit, Kartchner Caverns, ZDA

Nitrocalcite ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) is a deliquescent mineral, efflorescent only under very low humidity conditions (around 50% for a normal range of cave temperatures; HILL & FORTI, 1986; Figure 1). Nitrocalcite has been mentioned as occurring in a number of eastern United States caves, but these are pre-1900 citations which are erroneous since eastern caves have relative humidities approaching 100%. Brief mention of nitrocalcite as a cave mineral has been given for one cave in the southwestern United States and one cave in Italy (HILL & FORTI, 1986). This is the first authenticated, detailed description of nitrocalcite as a cave mineral.

Nitrocalcite occurs in Kartchner Caverns as cave cotton growing from sediment in scattered areas along the Entrance Passage (e. g., Babbitt Hole and LEM Room, Figure 2) where cold, dry, winter air flows into the Entrance Passage from the surface. Mineralization occurs as efflorescent cotton mats, consisting of colourless to milky-white, silky-to-transparent, slender needle crystals up to 0.5 mm in length and <0.1 mm in width (Figure 3). Birefringence is high: third order yellows, pinks and greens. One optical indice measured <1.50, another >1.50. Some of the needle crystals look eaten-away along their edges and many have a thin coating of clay on their surfaces. The mineral has a strong, bitter-cool taste.

Nitrocalcite was positively identified by D. Bish of Los Alamos Laboratory using X-ray diffraction techniques. A composite powder of the cotton material exhibits peaks for calcium nitrate hydrate (not a named, naturally-occurring mineral species), calcite, and quartz; in addition, a possible peak for a clay mineral was detected. The calcite is probably normal secondary mineralization within the sediment, the quartz is probably detrital (tiny pieces of needle quartz in the sediment?), and the clay mineral is probably clay coating the nitrocalcite crystals. It seems probable that the calcium nitrate hydrate (two waters of hydration) is a dehydration product of nitrocalcite (four waters of hydration). The mineral was kept in a closed container containing desiccant since its collection (December, 1989) and the diffractometer was kept below 10% relative humidity during X-ray analysis, so the dehydrated form of nitrocalcite was not unexpected.

The growth of nitrocalcite in the Entrance Passage was monitored by a data logging system which recorded cave temperature and relative humidity on an hourly basis. A weather station was also operated on the surface near the cave entrance. From December 10, 1989 to December 16, 1989 the weather on the surface was unusually dry and cold, with the outside humidity dropping to 23%. The cotton was first noticed on December 14 in front of the Babbitt Hole, two days after the significant drop in surface humidity. Maximum growth was noted on December 12th at Babbitt Hole as a loose mat 1-2 cm thick when the cave humidity and temperature measured 45.3% and



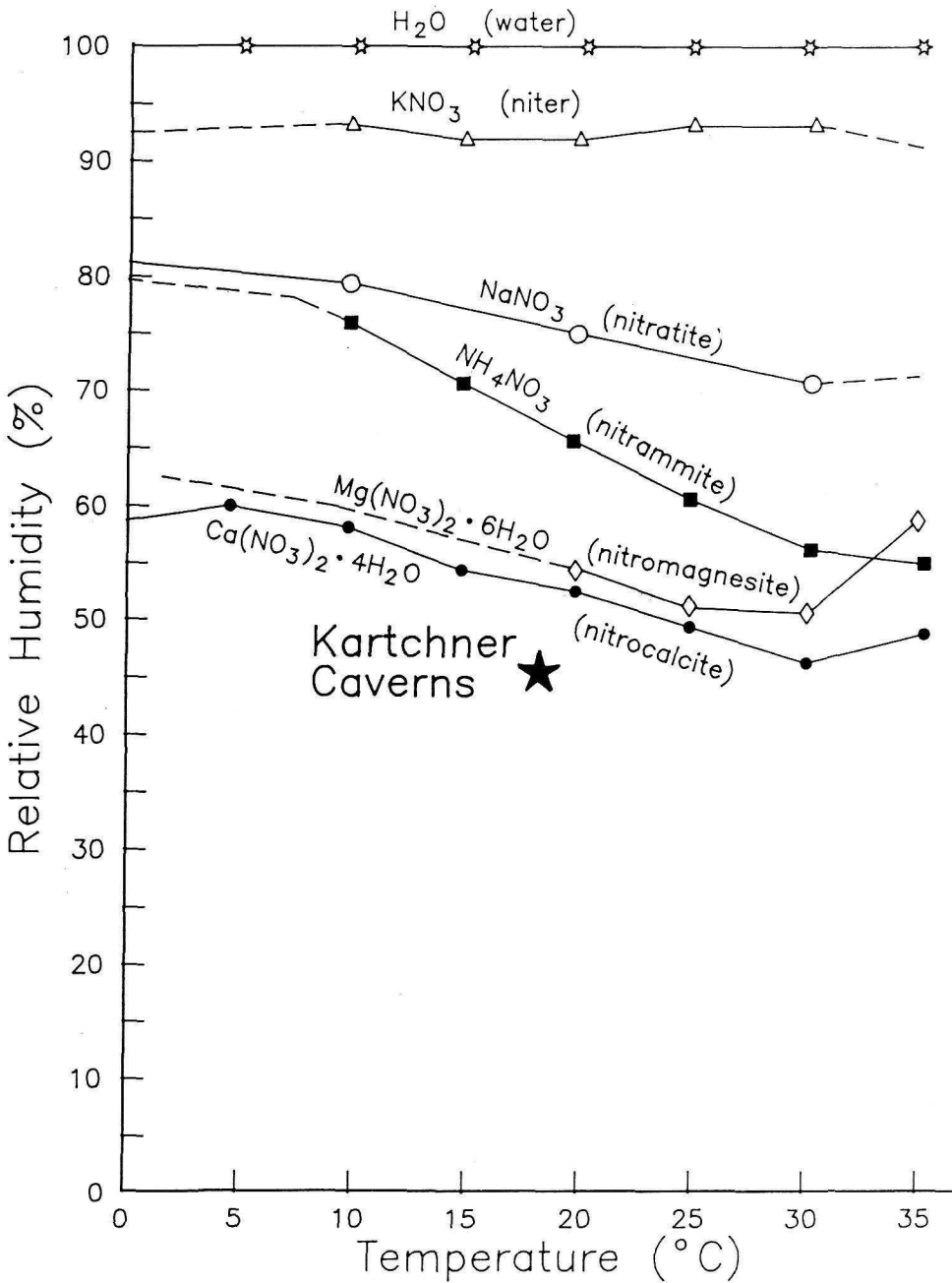


Figure 1. Stability of nitrate minerals in a cave environment with respect to temperature and humidity, showing the Kartchner Caverns nitrocalcite (star) plotted below the nitrocalcite line in the zone of efflorescence. After Hill and Forti (1986).

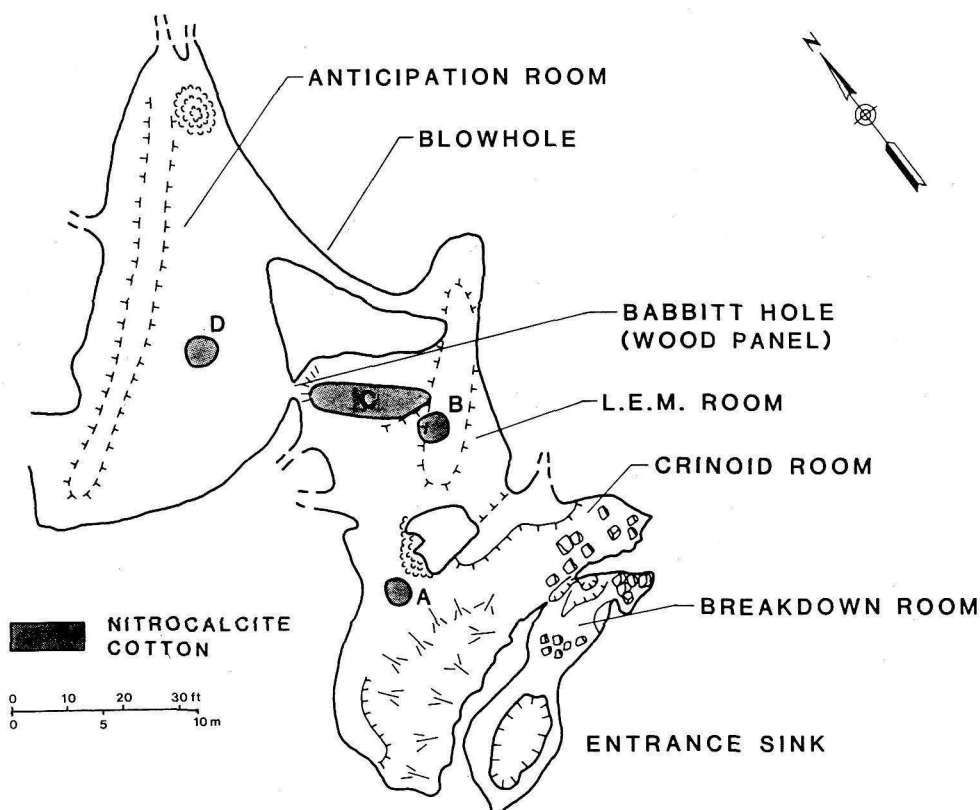


FIGURE 2 LOCATION OF NITROCALCITE IN THE ENTRANCE PASSAGE OF KARTCHNER CAVERNS, DECEMBER, 1989

Figure 2. Location of nitrocalcite in the Entrance Passage, Kartchner Caverns.

15.6 °C, respectively (star, Figure 1). When both surface and cave humidity rose a few days later the nitrocalcite slowly deliquesced and disappeared back into the floor sediment. A humidity of 49-50% or below appears to be needed for crystallization, and the humidity needs to remain low for a few days before significant cotton effloresces. This corresponds to a time when the cave is "breathing in" -- that is, when cold, dry air is coming into the cave from the outside. When the cave "breathes out," warm moist cave air quickly causes the mineral to deliquesce and disappear back into the cave sediment.

Interestingly, maximum nitrocalcite growth does not occur in undisturbed dirt off the trail, but it occurs where dry sediment of the Entrance Passage becomes compacted and smeared with mud by crawling cavers returning from the wet, muddy interior of the cave. It may be that, where sediment becomes compacted, nitrocalcite cannot crystallize within sediment pore spaces but must crystallize at the surface of the sediment. It has been noted that crystallization obliterates boot and knee-pad marks in the sediment within a few days time; evidently, sediment particles are forced upward by

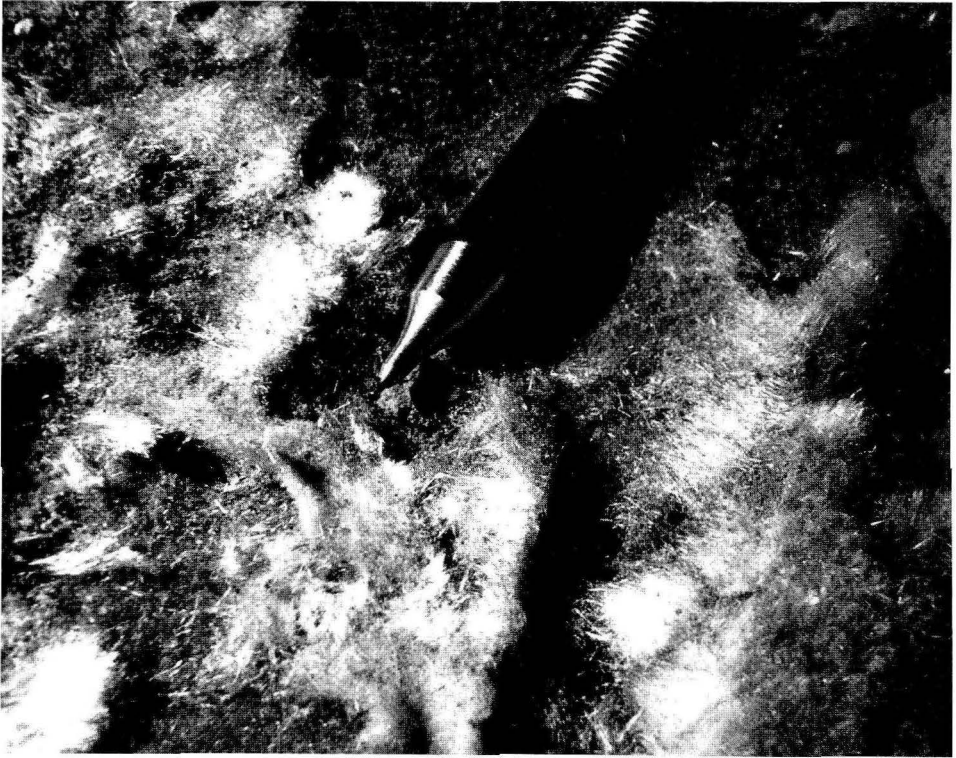


Figure 3. An efflorescent mat of nitrocalcite cotton, Entrance Passage. Photo taken on December 14, 1989 by R. Buecher.

crystallization within sediment pore spaces. Scattered patches of dark bat guano can be seen all along the Entrance Passage where the trail has not been crawled over. Cave rat trails can also be seen along the passage walls. Bat and rat guano could both be possible sources of nitrates for the nitrocalcite mineralization.

#### REFERENCES

- Hill, C. A., & Forti, P., 1986, Cave Minerals of the World: Huntsville, Alabama, National Speleological Society, 238 p.

**YELLOW SANDS WITH GIBBSITE IN SEDIMENTS OF  
POCALA CAVE: PALEOENVIRONMENTAL  
CONSIDERATION**

RUMENI PESKI Z GIBSITOM V SEDIMENTIH JAME  
POCALA: PALEOEKOLOŠKI POMEN

FRANCO CUCCHI - FURIO FINOCCHIARO - FRANCESCO PRINCIVALLE

**Abstract**

UDC 552.55:551.44(450.361)

**Cucchi, F., Finocchiaro, F. & F. Princivale: Yellow sands with gibbsite in sediments of Pocala Cave: Paleoenvironmental consideration**

The granulometric and mineralogical characteristics of sediments at the bottom of Pocala cave (Karst of Trieste, Italy) are reported. In sandy lens ("Yellow quartz sand" *Auctorum*) included in the two clay layers, gibbsite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) was found.

This sediment may be transported into the cave by the water passing through soil of the interglacial origin. In fact the genesis of gibbsite may be ascribed to bauxitic deposit belonging to the warm-humid climate.

**Izvilleček**

UDK 552.55:551.44(450.361)

**Cuchi, F., Finocchiaro F. & F. Princivale: Paleoeološki pomen rumenega peska z gipsitom v sedimentih jame Pocala.**

Predstavljene so granulometrične in mineraloške značilnosti sedimentov na dnu jame Pocala (Tržaški Kras, Italija). V peščenih lečah ("rumeni kremenov pesek" *Auctorum*), ki leži med glinastima plastema je bil odkrit gipsit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Sediment je prinesla v jamo voda, ki je pritekala preko prsti interglacialnega izvora. Izvor gipsita lahko pripišemo boksitnim sedimentom iz toplo-vlažne klime.

**Address - Naslov**

Franco Cucchi & Furio Finocchiaro  
Istituto di geologia e paleontologia  
dell' Università degli studi  
Piazzale Europa 1  
34132 Trieste  
Italia

Francesco Princivale  
Istituto di Mineralogia e Petrografia  
Università di Trieste  
Trieste  
Italia

The lecture was held on the International Symposium Minerals in Karst Caves, Postojna, May 7-8, 1992

## INTRODUCTION

The importance of the karst cave sediments lies in the possibility to reconstruct the evolution of the karst systems. The texture and mineralogical analyses of the clastic sediments properties, in particular those, found near the surface, could provide useful indications on the paleoclimatic conditions in the time of the sediments deposition.

The studied sediments were collected at the bottom of the Pocala cave, a relic of a huge subhorizontal passage (33.5 m in depth, 137 m in length) opening on 134 m a.s.l. in the Cretaceous limestones near the Aurisina village (Trieste). The cave is important finding site of abundant quantities of *Ursus spelaeus* bone rests and Medium Palaeolithic remains (CANNARELLA, 1977).

The entrance lies in the strongly karstified area with some huge and deep dolines and other interesting and big caves (among them Grotta Lindner and Grotta Noè, f.e.).

The bottom of the cave is levelled and covered by clastic material (clay and silt with pieces of limestone). All this material including big blocs of rocks, collapsed and still growing speleothems is without doubt very important. The genesis and the morphology of the caves in the vicinity offer the hypothesis that the cave was deepened by gravity for more than hundred meters and later filled up again almost entirely by the sediments. Now we are in the phase of the sediments erosion by local deepenings and water seeping down.

At about 10 - 20 m from the bottom on the floor there is an almost vertical bank, about 40 - 50 cm high (Fig. 1), followed by an inclined floor of the chaotic material connected by steep inclination with the terminal rocky wall.

The analysed sediments originate from the vertical bank where the stratigraphy of the most recent part of the sediments could be recognized: two sites for sampling were chosen, about 10 m distant one from the another and representing the whole front.

The site A is characterized by the following levels (from up down):

A 1: 15-20 cm of argillaceous clay with limestone clasts of the maximal diameter about 5-6 cm; 7.5 YR 4/4 (brown - dark brown)

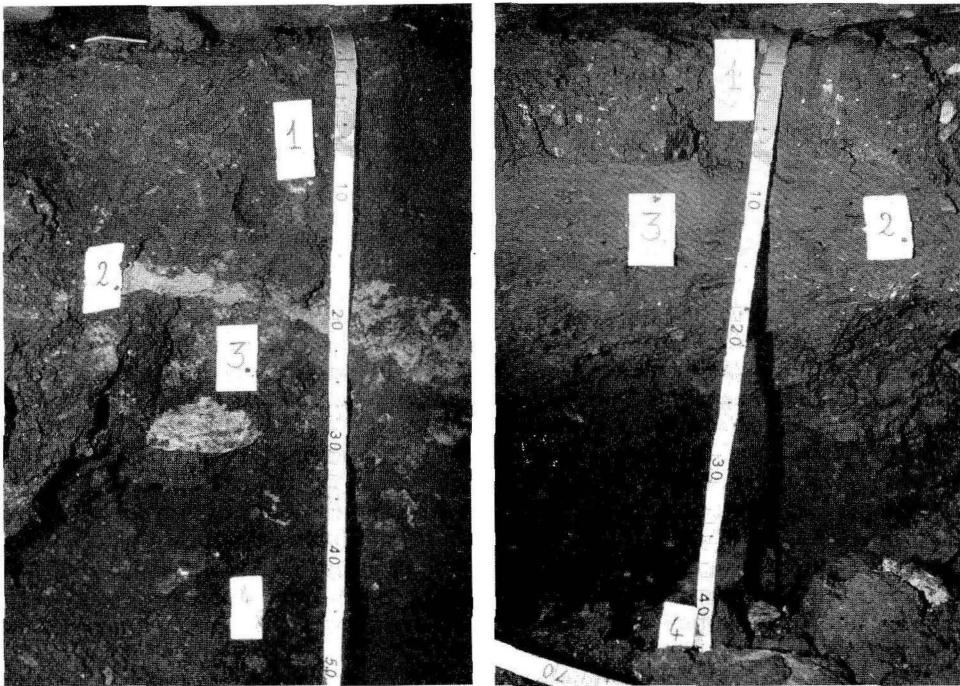
A 2: 2-3 cm of well sorted sand; colour 2.5 Y 7/4 (pale yellow)

A 3: 2-3 cm of very compact clay; colour 2.5 YR 4/8 (red)

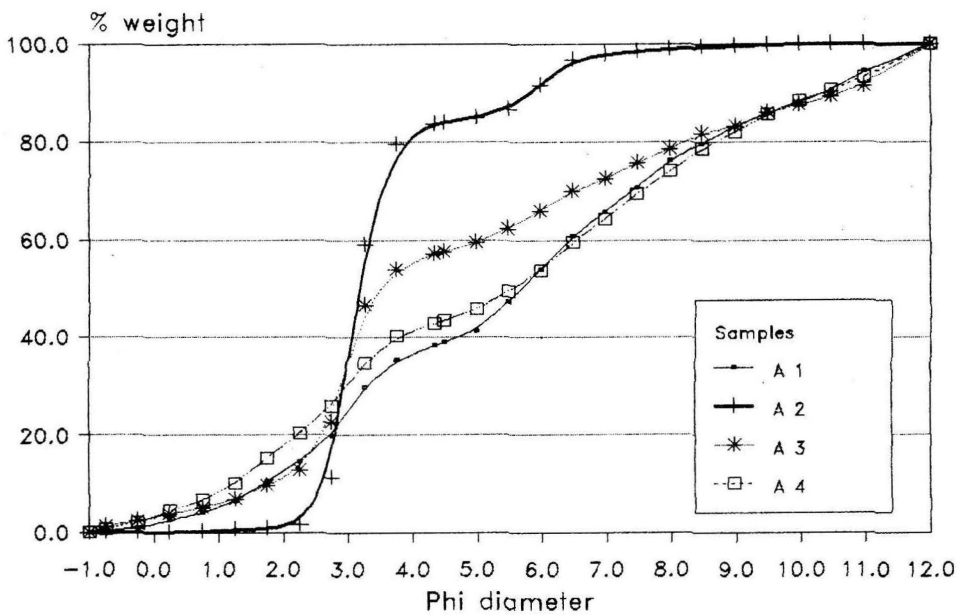
A 4: 30 cm of clay with limestone clasts with the maximal diameter of 8-10 cm; colour 10 YR 4/3 (brown - dark brown)

The B site is characterized by missed sand level (A 2) and by some irregularities (B2 and B3) in the medium level.

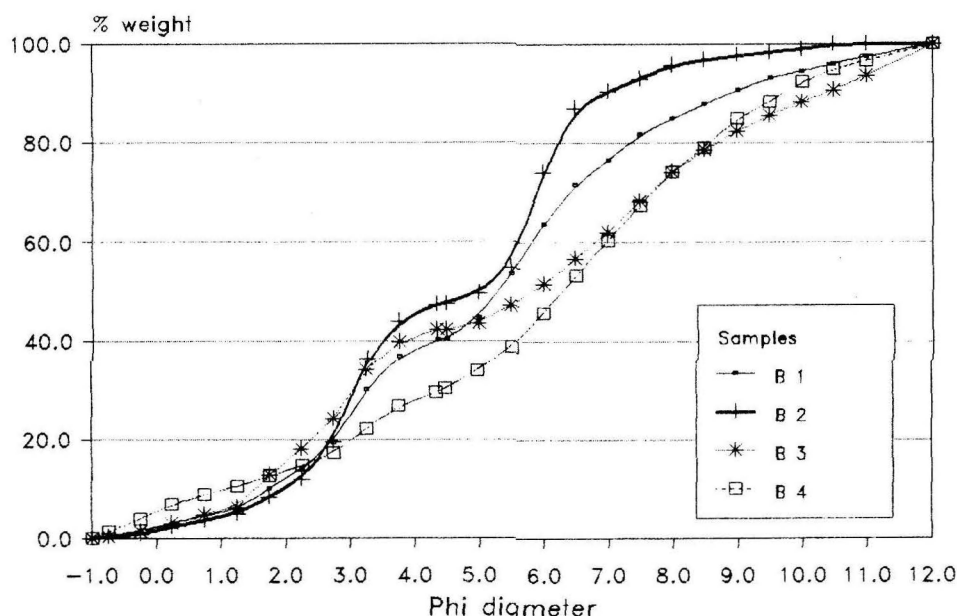
B 1: 8-10 cm of argillaceous clay with limestone clasts of the maximal diameter of 8-10 cm; colour 7.5 YR 4/4 (brown - dark brown)



Site A



## Site B



B 2: 8–10 cm thick layer of clay with small limestone clasts; colour 2.5 YR 4/6 (red)

B 3: 8–10 cm of very compact clay; colour 10 YR 4/2 (dark grayish – brown)

B 4: 20 cm of very fine clay with some limestone clasts; colour 7.5 YR 4/6 (strong brown).

The grain size and mineralogical analyses were carried out on 8 samples.

## MATERIAL AND METHODS

The granulometrical analyses were done on the lower fraction of 2 mm: the sand fraction (2000–50  $\mu\text{m}$ ) was analysed by the sieves in the intervals of 1/2 size phi: for the pelitic fraction ( $\phi < 50 \mu\text{m}$ ) a sedigraph 5000ET, Micromeritics was used.

Diffraction analyses were done on the lower fraction either at 50  $\mu\text{m}$  or at 4  $\mu\text{m}$ . This last fraction has undergone the effect of glycol in order to individualize the presence of expanded clayey minerals. Beside it, regarding the analyses results, a diffraction analysis on the whole fraction of the sample A2 was done.



## RESULTS

The results of the granulometric analyses are represented on the Table 1 which gives, besides the percents of the main fractions the granulometric parameters calculated by the FOLK & WARD (1957) equation: the curves of the cumulative frequency are given on the Fig. 2.

Table 1

SIGLA	Sand	Silt	Clay	Mz	o	Sk	Kg
A1	38.2	44.9	16.9	5.73	3.19	0.04	0.85
A2	83.7	15.8	0.5	3.49	0.98	0.61	2.23
A3	57.2	26.2	16.6	5.00	3.23	0.57	0.93
A4	42.8	39.3	17.9	5.52	3.46	0.02	0.80
B1	40.1	50.5	9.4	5.18	2.73	0.00	0.99
B1	47.4	50.2	2.4	4.62	1.93	- 0.22	0.87
B3	42.3	40.1	17.6	5.69	3.32	- 0.01	0.79
B4	29.4	55.5	15.1	5.89	3.18	- 0.19	0.96

In general the sediments are poorly sorted with various percents of sand, silt and clay. Silt is usually the prevailing granulometric fraction with the exception of samples 2 and 3 of the site A. The samples are always bimodal, the first being the fine sand (105 - 150  $\mu\text{m}$ ) and the second in the array of silt (11.3 - 16.9  $\mu\text{m}$  in 5 samples).

Table 2

SIGLA	Chert	Calcite	Feldspar	Illite	Kaolinite	Chlorite	Gibbsit
Fraction < 50 $\mu\text{m}$							
A1	69	16	3	6	1	5	/
A2	42	/	/	8	/	/	50
A3	66	5	9	15	2	3	/
A4	40	21	9	17	5	8	/
B1	48	15	8	17	6	6	/
B2	76	1	4	9	4	6	/
B3	29	28	7	21	7	7	/
B4	30	29	4	21	8	8	/
Fraction < 4 $\mu\text{m}$							
A1	20	/	/	38	22	20	/
A2	/	/	/	40	20	/	40
A3	14	/	/	46	6	34	/
A4	22	/	/	36	23	19	/
B1	7	/	/	53	19	21	/
B2	21	/	/	35	24	22	/
B3	12	/	/	52	20	16	/
B4	29	/	7	29	6	29	/

The exception is sample of the level A 2 where the sand is the preponderant fraction (83.7%): the class 105-150  $\mu\text{m}$  assumes 47.7% of the total. This sediment could be defined as well sorted sand.

Regarding the mineralogical composition it must be said, that all the samples, with the only exception of the sample A 2 have a similar mineralogical association.

The results of the X-ray spectra are given on the following Table 2.

In general the samples present analogous mineralogical properties: in lower fraction of 50  $\mu\text{m}$  the chert prevails (from 30% to 80%) with associated calcite of diverse percents (1% to 30%), feldspar (6%), illite (10% - 20%), kaolinite (5% - 10%), chlorite (6% - 7%).

Consequently the chert is prevailing, if not exclusive component.

The exception is the sample A 2 (the yellow sands) where beside the chert and illite a lot of gibbsite (about 50% in the fraction < 50  $\mu\text{m}$  and 40% in the fraction < 4  $\mu\text{m}$ ) was found.

The presence of gibbsite was confirmed by the chemical analyses as well (fluorescence RX) confirming besides 82% of silica the presence of 10% of aluminium which are not justified by the illite only.

## CONCLUSIONS

The sediments in the Pocala cave have in major part the external origin; it means that they were transported and sedimented in the successive periods as occurred the floods in the cave.

The level A2 (yellow sands), presented in a lense shape is in particular connected with these phenomena.

In the level is gibbsite, the mineral which is usually found in big quantities in the sediments of bauxite extremely rich in silica which is the consequence of the alteration in soils in the ambience of the tropical and subtropical climate where dry periods and rain periods alternate.

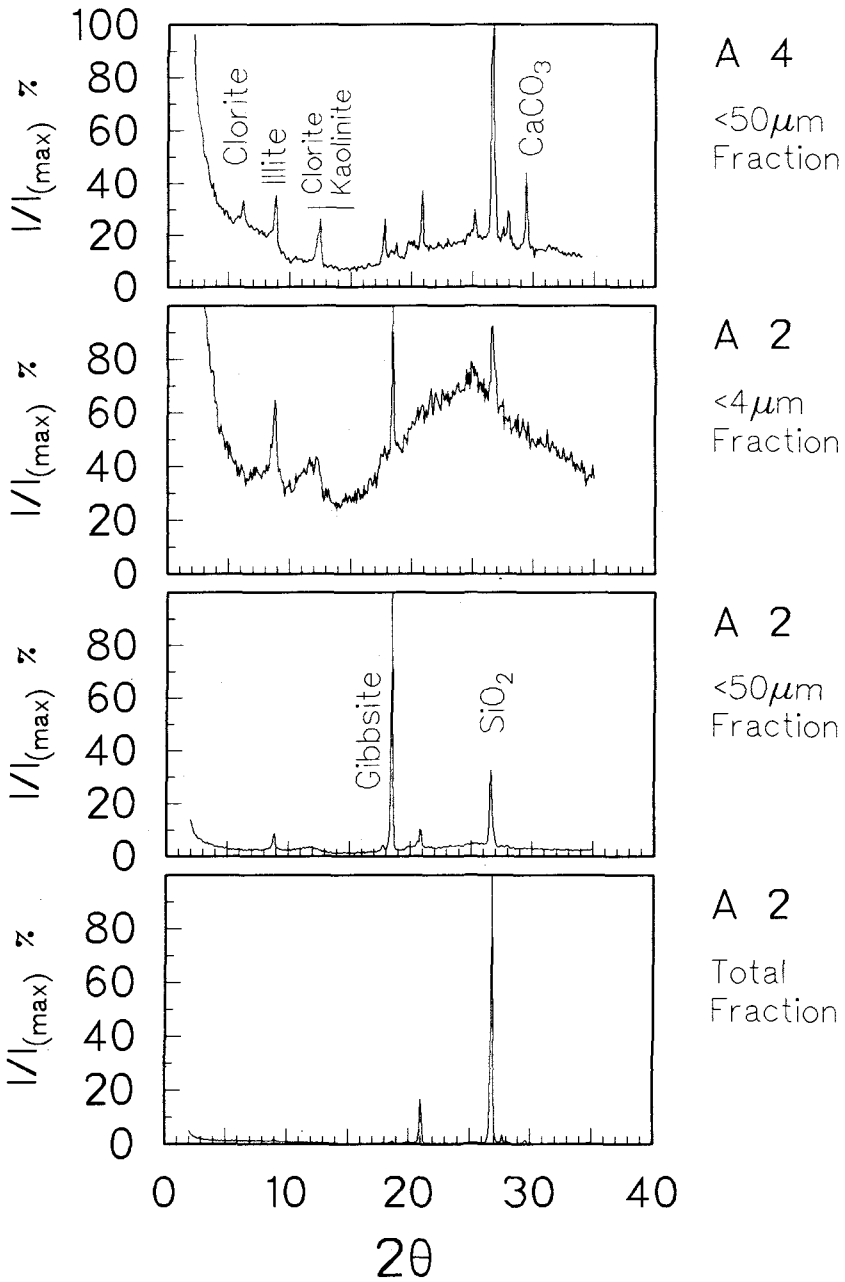
Thus the gibbsite present in the Pocala cave could originate either inside or outside the cave: in both cases the origin is in favour of warm climate. This is testified by the index of the illite crystalization, always > 3 (TESTA et al., 1990).

As the yellow sands are present on the walls and the floors of some of the caves in the vicinity the presence of diffused gibbsite in various morphological conditions speaks in favour of the transport of the superficial sediments to the cave occurring in the warm-humid climatic conditions.

## REFERENCES

- Cannarella, D., 1977: Catalogo delle cavità e dei ripari di interesse paleontologica sul Carso Triestino.- Atti della Società per la Preistoria e Protostoria della Regione Friuli Venezia Giulia, vol. 3, 47-124, Pisa
- Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957: Barzoi river bar: a study in the significance of the grain size parameters.- Journal of Sedimentology and Petrology, vol. 27 (1), 3-26

slika 3



- Forti, F., 1973: Considerazioni sui depositi di riempimento delle cavità carsiche nel Carso triestino.- Atti e memorie della Commissione Grotte "E.Boegan", vol. 13, 27-29, Trieste
- Munsell Soil Color Charts, 1975. Soil test Inc-. 2205 Lee St. Evanston Ill., USA
- Testa, S. & Marocco, R., & Pirini Radrizzani, C., Princivalle, F. & Vergnauld Grazzini, C., 1990: Paleoclimatic record of the past 30.000 years in the Ligurian Sea: evidence provided by oxygen isotopes, foraminifera and clay minerals.- Bolletino Ocean. Teor. e Appl., vol. 8, no. 3, 177-195



**FLOWSTONE DEPOSITION IN THE SLOVENIAN CAVES**

**ODLAGANJE SIGE V SLOVENSKIH JAMAH**

**JANJA KOGOVŠEK**

**Abstract**

UDC 552.54:551.44(497.12)

**Kogovšek, Janja: Flowstone Deposition in the slovenian Caves**

In the underground the flowstones of various colours and forms are frequently met. The question arises how quickly they grow, how intensively they are deposited from the percolated water and what is their age. The flowstone deposits out of infiltrated water, carbonate solution respectively with various alloys and by diverse intensity. Our flowstone studies in the slovenian caves have shown that from one liter of percolated water on about 10 m long distance up to 180 mg  $\text{CaCO}_3$  could be deposited. The rate of deposition mostly depends on the input hardness of over-saturated water and on the conditions in the cave. But the quantity of deposited flowstone is mostly dependent on the quantity of the percolated water. Thus small trickles in Postojnska jama deposit in one year 0.5 kg of flowstone, while the quantity is at least ten times bigger at the abundant trickles in Škocjanske jame, according to our estimation.

Key words: Slovenia, flowstone deposition, cave mineral

**Izvilleček**

UDK 552.54:551.44(497.12)

**Kogovšek, Janja: Odlaganje sige v slovenskih jamah**

Siga se iz prenikle vode, oz. raztopine karbonatov in številnih primesi, izloča različno intenzivno. Naše raziskave sig v slovenskih jamah so pokazale, da se iz enega litra prenikle vode na do 10 m dolgi poti izloči do 180 mg  $\text{CaCO}_3$ . Ta stopnja izločanja pa zavisi predvsem od izhodne trdote prenasičene prenikle vode in pogojev v jamskem prostoru. Vendar pa količina odložene sige zavisi predvsem od količine pretekle vode. Tako se pri kapljanjih v Postojnski jami odloži v enem letu do 0.5 kg sige, pri izdatnih curkih v Škocjanskih jamah pa po naši oceni vsaj 10 krat več.

Ključne besede: Slovenija, odlaganje sige, jamski mineral

**Naslov - Adress**

mag. Janja Kogovšek, dipl.ing.chem., razisk. svetnik  
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU  
Titov trg 2 SLO 66 230 Postojna

The lecture was held on the International Symposium Minerals in Karst Caves, Postojna, May 7-8, 1992

## INTRODUCTION

Deposited flowstone contains besides the main component  $\text{CaCO}_3$  various alloys which either originate in the percolated water or these particles are transported and cemented in the flowstone during the deposition of dissolved matters. Primary röntgen micro-analysis, the method with electronic micro-sound has shown rather big heterogeneity of flowstones in the distance of some ten micrometers already. Emmission spectrography and flame atomic absorption spectrometry have shown that the flowstones contain Al, Fe, Mg, Na, and also Pb, Mn, Ni, Cr, Zn and Cu. Intensive gray and orange coloured flowstones contain considerably more iron and aluminium (up to  $0.650 \text{ mg Fe g}^{-1}$  and up to  $1.300 \text{ mg Al g}^{-1}$ ) as the others white, or slightly coloured flowstones.

The intensity of the flowstone growth in Postojnska jama was observed by GAMS (1968a) during one year from 1963 to 1964. He stated that from one liter of percolated water up to  $102 \text{ mg CaCO}_3$  were deposited. In one year there was on the observed sites from 0.3 to 2 kg of flowstone deposited. Gravimetric definition of the deposited flowstone on the glass stripes hanging off the ceiling has given considerably lower values.

## OUR MEASUREMENTS OF FLOWSTONE DEPOSITION

Our observation of the flowstone deposition were based on long lasting frequent measurements of percolated water hardness before deposition and later after defined way of deposition. Parallely we measured the discharge. The deposition was followed in Pisani rov of Postojnska jama, in Škocjanske jame in Paradiž and in Velika dvorana, in Taborska jama and in Planinska jama.

In Pisani rov (KOGOVŠEK, 1982) we measured the deposition from small trickles up to  $100 \text{ ml min}^{-1}$  with relatively small oscillations and on the distance of deposition up to 2.7 m. From one liter of percolated water up to  $90 \text{ mg CaCO}_3$  were deposited. During smaller discharges the carbonates were deposited in higher degree than during bigger ones, but the quantity of deposited flowstone mostly depends on the quantity of the percolated water. The flowstone deposition was more abundant in autumn and in winter during small discharges than in other part of the year which shows irregular flowstone growth over one year already.

Trickle 1 in Planinska jama is more abundant. Its discharge oscillates from  $30 \text{ ml min}^{-1}$  to over  $100 \text{ l min}^{-1}$  and it reacts extremely quickly to the rainwater. The deposition was followed on 10 m long way (KOGOVŠEK & HABIČ, 1981). At the discharge of about  $100 \text{ ml min}^{-1}$  from one liter up to 55



mg  $\text{CaCO}_3$  were deposited. At the discharges of more  $1 \text{ min}^{-1}$  no deposition was registered. Minimal deposition effect obviously covers the effect of dilution.

In Škocjanske jame (KOGOVŠEK, 1984) from the trickles in Paradiž out of 1 l of water up to 60 mg  $\text{CaCO}_3$  were deposited, in one year there was 0.6 kg of flowstone deposited. Similar was stated for the trickles in Pisani rov of Postojnska jama. The trickle in the Big Chamber where the discharge considerably oscillates (to  $5 \text{ l min}^{-1}$ ) as well as the hardnesses from 1 l of water on 10 m long distance on the stalagmite Orjak from 37 to 170 mg of dripstone were deposited which means 23 to 65 % of all the carbonates in the percolated water. It is interesting that here the highest hardnesses and the highest degree of dripstone deposition occur during bigger discharges with the exception of extremely high discharges only. Thus both decisive influences coincide which means the maximal possible deposition which is higher than in already mentioned cases in Planinska jama and Postojnska jama. The negative effect is presented by unstability of the trickle only as during summer drought it could be dry for 4 months even. Unfortunately the discharge measurements during the whole year were not frequent enough to make the calculation of annual quantity of the deposited dripstone. Bigger amount of dripstone deposition thus occur in Hankejev kanal where the trickles never dry up.

Dripstone deposition was monitored in Taborska jama, Dolenjska too (KOGOVŠEK, 1990). During lower discharges, up to  $200 \text{ ml min}^{-1}$  the trickle in Zadnja dvorana deposited after 6 m long trickling down 90 to 180 mg  $\text{CaCO}_3$  from one liter of percolated water. During maximal discharges only up to 25 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  were deposited. The measurement results are gathered in Table 1.

Table 1

Cave observation site	distance of trickling down	min.-max. deposition flowstone	annual quantity of water	deposited flowstone
	m	mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$	$\text{m}^3$	g
Post.j.-Pisani rov				
23	2.7	8 - 110	14	550
24	1.8	8 - 88	8.6	200
25	0.5	15 - 75	2.4	4
29	1.8	20 - 80	2.7	100
Planinska j. curek I	10	0 - 55	2000	-
Škocjanske jame				
Paradiž	1.0	15 - 60	16	600
Vel.dvorana	10	37 - 170	-	-
Taborska j. Zadnja dvorana	6	25 - 180	-	-

#### THE COMPOSITION OF THE DEPOSITED FLOWSTONE

In the underground caves the flowstone in form of calcite, which is the most stable crystal form of  $\text{CaCO}_3$  and rarely less stable aragonite, are usually met. During the deposition of the calcium carbonate from percolated water which is

the solution of several other alloys they are deposited as well, depending on conditions. Small solid particles transported by the water could occur in the dripstone as well. The evaporation in most of the caves does not contribute to the flowstone formation as the cave air is usually saturated by humidity. It plays more important role in dry caves only. The flowstone deposited in such a way is less pure as all the dissolved particles are admixed.

The composition of various flowstone samples of Postojna cave was presented by GAMS (1968b) where he inferred that the flowstone is composed from 99.14 to 100 % of  $\text{CaCO}_3$ .

We've chosen visually different flowstones and we analysed them regarding the carbonate contents gravimetrically by weighing the adsorbed  $\text{CO}_2$  after decomposition by acid and manometrically by measurement of  $\text{CO}_2$  pressure after acidic decomposition, by measurement of ignition loss and by differential thermic analysis. Calcium and magnesium were titrimetrically defined. Qualitative emission spectrographic analysis (semi-quantitative method according to Krooner-Valder) has shown which metals are present in our samples. Quantitative presence of them was defined by flame atomic absorption spectrometry (KOGOVŠEK, 1981).

Unhomogenities in dripstone, being the result of its slow and irregular growth, changing of percolated water and conditions respectively, are frequently discernible by eye. These unhomogenities were researched in detail by primary röntgen microanalysis - the method with electronic microsound. The line and point analyses in cross section of speleothems were done and distribution of elements defined: Ni, Fe, Zn, K, Ca, Na, Al, Ti and Mn.

Analysed samples of flowstone mostly contained CaO and  $\text{CO}_2$ , MgO most of them below 0.3%. The exception is flowstone below the trickle 1 in Planinska jama with 0.8% MgO contents which is deposited from the percolated water with  $\text{Ca/Mg}=3$ . The solubility of  $\text{MgCO}_3$  is bigger than that of  $\text{CaCO}_3$ , this is why Mg appears in flowstone in considerably lesser degree as well all the others more soluble components.

Qualitative emission spectrographic analysis of samples has shown the presence of Fe, Al, Mg, Pb, Cr, Sn, Ni, Na, and Cu which were later quantitatively defined by atomic absorption spectrometry. We analysed ground, homogenised samples and particular particles which were directly dissolved. The differences in the results reflect unhomogeneous structure of dripstone. The samples contained low concentrations (up to  $2 \text{ ug g}^{-1}$ ) of Cu, Zn, Mn, Cr and Ni; Pb up to  $40 \text{ ug g}^{-1}$ , a little more Na (up to  $180 \text{ ug g}^{-1}$ ) and the most they differ regarding the contents of Fe and Al. In sequence from light, white flowstone up to slightly coloured or intensively orange flowstones have augmented the contents of iron and aluminium too. Intensively gray and orange flowstone contained up to  $600 \text{ ug g}^{-1}$  of Fe and up to  $1400 \text{ ug g}^{-1}$  of Al.

All these chemical analyses have given the average flowstone composition, it means of the taken part of the flowstone. But as the flowstones are extremely unhomogeneous we have analysed some samples by primary röntgen microanalysis, by point and line analyses. Point analyses gives us quick information on present elements on the surface of  $1 \text{ um}^2$  and the line analyses gives the composition of chosen line which is being researched. Such detailed analysis is very suitable for flowstone materials study as it gives the possibility to analyse thin layers and various inclusions in flowstone samples.

Line analysis in radial direction after cross-section of solid speleothem

with light brown-ray concentric layers has shown that Ca is present in high concentrations accompanied by Fe with local enrichments which correspond to slight decrease of Ca contents. Point analyses have shown higher contents of Si and S.

Similar result was obtained by the stalagmite with almost white, solid interior with visible crystalline planes which differs by sight from the above mentioned speleothem. The sample contained more K and Fe, local enrichments of Fe are extremely expressed. By point analyses of the external layers of the speleothem we have defined Ca mostly, while in nucleus bigger concentrations of Si and Al were present and slightly smaller ones of K and Fe.

### CONCLUSION

Recent flowstone deposition in the slovenian karst caves is rather intensive. The quantity of deposited flowstone depends mostly on the quantity of percolated water and, obviously on initial concentration of dissolved carbonates, cave atmosphere and the length of the way. In Taborska jama and in Škocjanske jame the way of deposition was such that maximal deposition was possible and from one liter of percolated water up to 180 mg CaCO<sub>3</sub> were deposited. In Postojnska jama and Planinska jama the way was shorter and up to 90 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> were deposited, 0.5 kg of flowstone during one year period respectively. The oscillations of the flowstone deposition during the year were stated.

Chemical analyses give us average composition of taken sample. Intensively coloured flowstones contained more iron and aluminium mostly. Primary röntgen microanalysis enables the analyses on such short distances and is suitable for flowstone analyses as it is deposited slowly over a long period and because of various reasons the composition of percolated water changes. For younger flowstone, deposited in a recent past, the events in nature and the conditions are rather well known and this is why this method enables their mutual dependence.

### REFERENCES

- Gams, I., 1968a: Über die Faktoren, die die Intensität der Sintersedimentation bestimmen. *Actes 4th Inter. Congr. of Speleol.*, 3, 107-115, Postojna, Ljubljana, Dubrovnik
- Gams, I., 1968b: Versuch einer Klassifikation der Tropfsteinformen in der Grotte von Postojna. *Actes 4th Inter. Congr. of Speleol.*, 3, 117-126, Postojna, Ljubljana, Dubrovnik
- Kogovšek, J., & Habič P., 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, 129-148, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1981: Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah. *Acta carsologica*, 9, 111-127, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1982: Vertikalno prenikanje v Planinski jami v obdobju 1980/81. *Acta carsologica*, 10, 107-125, Ljubljana.

- Kogovšek, J., 1984: Vertikalno prenikanje v Škocjanskih jamah in Dimnicah. *Acta carsologica*, 12, 49–65, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1990: Značilnosti pretakanja padavin skozi strop Taborske jame. *Acta carsologica*, 19, 139–156, Ljubljana.

## **ODLAGANJE SIGE V SLOVENSKIH JAMAH**

### **Povzetek**

Recentno odlaganje sige v slovenskih kraških jamah je dokaj intenzivno. Količina odložene sige je odvisna predvsem od količine pretekle vode, seveda pa tudi od izhodne koncentracije raztopljenih karbonatov, jamske atmosfere in dolžine poti. V Taborski jami in Škocjanskih jamah je bila pot izločanja tolikšna, da je možno tudi maksimalno izločanje in se iz 1 litra prenikle vode izloča do 180 mg  $\text{CaCO}_3$ . V Postojnski in Planinski jami se je na krajši poti izločalo do 90 mg  $\text{CaCO}_3$ , oziroma se je iz kapljanj v enem letu odložilo do 0.5 kg sige. Ugotovili smo tudi nihanje izločanja sige preko leta.

Izločena siga poleg glavne komponente  $\text{CaCO}_3$  vsebuje še številne primesi, ki se izločijo iz prenikajoče vode, ali pa jih ta prinese kot drobne delce in se zacementirajo v sigo ob izločanju raztopljenih snovi. Primarna rentgenska mikroanaliza, metoda z elektronsko mikrosondo, je pokazala na veliko heterogenost sig že na razdalji nekaj deset mikrometrov. Emisijska spektrografija in plamenska atomska absorpcijska spektrometrija sta pokazali, da sige vsebujejo še Al, Fe, Mg, Na, pa tudi Pb, Mn, Ni, Cr, Zn in Cu. Intenzivno siva in oranžna siga vsebujeta opazno več železa in aluminija (do 0.650 mg Fe  $\text{g}^{-1}$  in do 1.300 mg Al  $\text{g}^{-1}$ ) kot ostale bele, oz. lahno obarvane sige.

Kemijske analize podajajo povprečno sestavo vzetega vzorca. Intenzivneje obarvane sige so vsebovale predvsem več železa in aluminija. Primarna rentgenska mikroanaliza omogoča analizo na tako majhnih razdaljah, da je primerna za analizo sige, ki se izloča počasi v daljših obdobjih, ko se je zaradi različnih vzrokov spreminjala sestava prenikajoče vode. Za mlajšo sigo, ki se je izločila v bližnji preteklosti, za katero so nam pogoji in dogajanja v naravi dokaj dobro poznani, bi nam ta metoda omogočila spoznati njuno medsebojno odvisnost.



**GYPSUM IN TAJNA JAMA AND IN THE CAVE KUBIK**

SADRA V TAJNI JAMI IN JAMI KUBIK

ANDREJ MIHEVC

**Abstract**

UDC 552.54:551.44(497.12)

**Mihevc, Andrej: Gypsum in the caves Kubik and Tajna jama**

Gypsum is frequent cave mineral but almost unknown in the slovenian karst caves. The aim of the article is to describe two finding sites of gypsum, in the caves Kubik and in Tajna jama, where gypsum is deposited in a form of big crystals within the cave clastic sediments. Possible origin of gypsum occurrence could be pirites oxidation and reaction of sulphuric acid with limestone.

Key words: Slovenia, Tajna jama, Kubik, cave gypsum

**Izvleček**

UDK 552.54:551.44(497.12)

**Mihevc, Andrej: Sadra v Tajni jami in jami Kubik**

Sadra je pogost jamski mineral, v slovenskih jamah pa je skoraj nepoznan. Namen sestavka je opisati dve nahajališči sadre, v jami Kubik ter Tajni jami, kjer se je sadra izločila obliki velikih kristalov v jamskih klastičnih sedimentih. Možen nastanek sadre je oksidacija piritov, ter reakcija žveplene kisline z apnencem.

Ključne besede: Slovenija, Tajna jama, Kubik, sadra,

*Naslov - Address*

Andrej Mihevc  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
Titov trg 2  
66230 Postojna  
Slovenija

After calcite and aragonite gypsum is the third most common cave mineral (C.HILL & P.FORTI, 1986). According to the slovenian speleological literature it was till now found in Kamniška jama only (J. URBANC, 1982). According to oral information gypsum is met in Marijino brezno near Škofja Loka and in Šimnova - Gorjanska jama (oral information F. ŠUŠTERŠIČ).

Gypsum is hydrated calcium sulfate,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . In the caves it appears under the form of colourless or white crystals, fibres, blossoms, crusts or powder. The mineral has monoclinic symmetry, swallow-tailed twins are common. It is soft mineral and could be razed by nail. It is well soluble in the water.

The origin of gypsum which is found in the caves is different. The most frequently it occurs by oxidation of sulphidic minerals, f.e. pyrite. Iron oxide and sulphuric acid occur during the oxidation. They react with calcite in limestone and gypsum and  $\text{CO}_2$  are the result. In last time to this process an important role is attributed by genesis of the initial channels in karst ( T.K. BALL & J.C.JONES, 1990).

Gypsum is better soluble than the carbonate rocks are. This is why it is usually found in more dry caves or in dry parts. It was brought there by the capillary forces and the gypsum was deposited when the water evaporated.

### **GYPSUM IN TAJNA JAMA NEAR ANDRAŽ**

Tajna jama lies north from Polzela on the Ponikve plateau. The entrance part was known by E. PRETNER since 1939. In 1961 D. NOVAK mentions that the chimney above the entrance part probably promises the continuation. The chimney was later climbed by the member of CC Črni galeb and they surveyed more than 1000 m of passages (D. NARAGLAV, 1978). In the cave register D. NARAGLAV mentions beside the aragonite speleothems and clusters big crystalline of various forms which precipitated in the loam. During the visits in 1975 and in 1992 it was proved that these are the gypsum crystals.

According to Geological map, sheet Celje the cave lies in light brown bedded Dachstein limestone. The beds are almost horizontal, uncrushed and being cut by some faults in the entrance part only clearly expressed in the passages morphology.

The cave was shaped by two water courses. The entrance part was shaped by the brook gathering the water in Oligocene rocks, sandstones, marls and andesite tufs. All these rocks could be found in the entrance part of the cave in form of gravels or finer sediments. About 20 m behind the entrance the brook flows into the siphon. The remaining, much bigger part of the cave was shaped by the water course which flows from narrow till now inaccessible



channel in the northern side of the cave and flows towards the entrance to the same siphon. This water flow is probably the same that sinks below the farm Zalesnik in Srednja Tajna about 50 m north from the extreme part of the cave.

In passages morphology two parts could be distinguished. The entrance part is a network of various channels shaped around the faults and in various altitudes. The bottom is covered by coarse sediments, gravel and sand.

Bigger, inner part of the cave is a simple passage oriented N-S and meandering in ground plan. In the passage's cross section two development stages are expressed. In the first one 2-3 m wide passage of oval or lense form developed in phreatic conditions along the bedplanes. The incision of 0.5 m

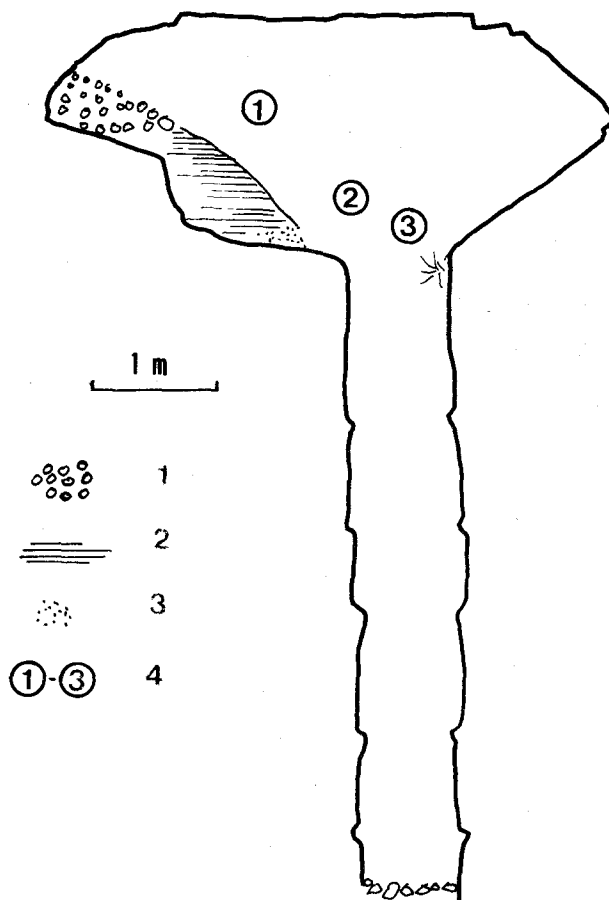


Fig. 1 Passage cross section in Tajna jama with gypsum finding sites

Slika 1. Profil rova v Tajni jami z nahajališčem sadre.

Legend: 1. non-carbonate gravel, 2. loam, 3. sand, 4. gypsum finding site

Legenda: 1. nekarbonatni prod, 2. ilovica, 3. pesek, 4. nahajališča sadre

wide canyon up to 10 m deep, followed. In its bottom the actual cave brook flows.

Gypsum is found on several places in the cave. Some are smaller white blossoms on the walls and on the ceiling of the passage, the majority of gypsum is found in the sediments which are preserved in lower part of wide oval profile of the passage but 10 m above the actual water flow. Crystals, deposited on the loam are either in 1-2 m thick needles or agglomerated into up to 4 cm thick swallow tailed-crystal twins. They are not easy shelled off the loam as they usually break. The biggest being washed off the loam by the percolated water was 25 cm long, strongly corroded. Gypsum growing in the sand has smaller crystals.

The origin of gypsum in the cave is not quite sure. The gypsum in form of crystals in the loam and sand could be transported in the solution by periodical flood water of the sinking stream. But according to other signs the floods do not reach so high and also gypsum appears in form of blossom on the rock thus this possibility could be discarded.

More probably the gypsum was brought in by the water which penetrates in the passage by the bedplanes and small fissures from the near rocks. The inflow of water saturated by sulfates is slow and controlled by capillary forces. When the water evaporates from the sediment the gypsum crystals grow. The same origin has the gypsum found in form of blossoms on the walls.

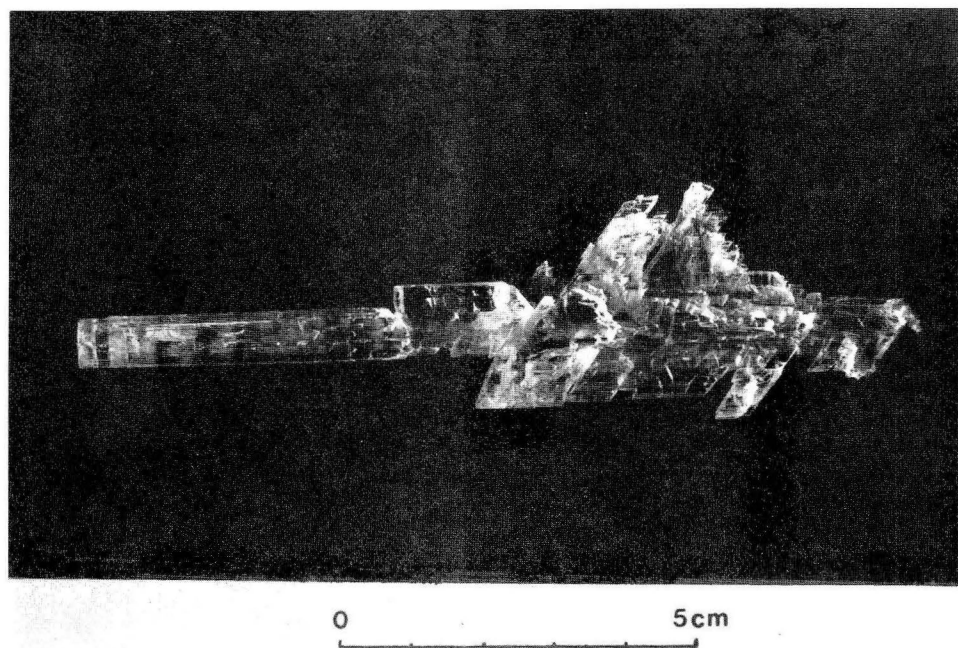


Fig. 2. Big gypsum crystal from Tajna jama cave  
Slika 2. Veliki kristal sadre iz Tajne jame

Gypsum is preserved in the dry inner part of the cave only which are no more influenced by the external impacts. As well gypsum is not found close to the percolated water or along the brook and their corrosion was observed even. Obviously the actual cave climate is periodically too humid.

### FINDING SITE IN THE CAVE KUBIK

The entrance to the cave Kubik lies in the bottom of dry valley south from Brezovica in Slovenian Istria. There are some swallow holes in the bottom and by one of them one can reach several hundred meters long, almost horizontal water channel. The cave was explored and described by the members of CC Dimnice from Koper (F. MALEČKAR, 1978).

The cave Kubik is one of very rare caves developed in flysch rocks. The entrance part, 3 m deep, lies in carbonate turbidites, the horizontal part of the cave developed in marls. Marls and sandstones overlay the limestone bed which is about 2 m thick.

The cave opened when the water flowing through the net of initial channels on the contact between limestone and marl augmented its erosional power and incised into the marl bed beneath. Thus the actual cave developed and the

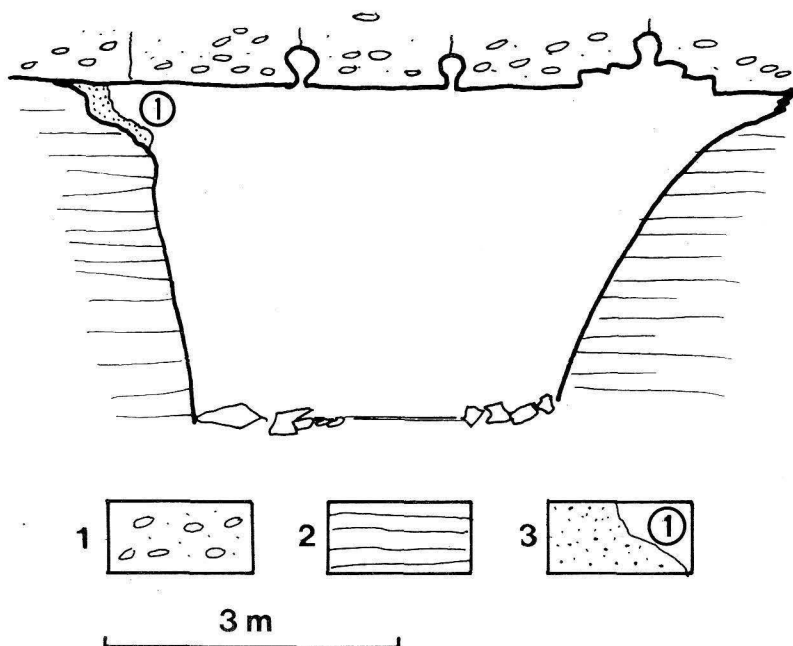


Fig. 3. Cross section of the passage in the cave Kubik

Slika 3. Profil rova v jami Kubik

Legend: 1. nummulitic limestone, carbonate part of turbidite series, 2. flysch marl, 3. weathered marl where the gypsum crystals are found

Legenda: 1. numulitni apnenec, karbonatni del turbiditne serije, 2. flišni lapor, 3. prepereli lapor v katerem se nahajajo kristali sadre

initial channels on the roof remained as marls above the limestone are impermeable.

Gypsum is found in the cave on weathered marl on the contact of upper limestone bed and underlain marl. Gypsum crystals are up to 3 cm big, transparent and show the tendance to grow in a limited place. They are deposited in weathered marls below the passage roof which are not reached by the flood waters. The gypsum was thus precipitated from the solutions entering the channel between the limestone and marl beds, the water and dissolved gypsum originated from the limestone. As this limestone belongs to flysch sequence which does not contain evaporite rocks and thus the possible gypsum origin in these rocks could be by pirite oxidation which is proved in flysch (M. PLENIČAR et a., 1973).

By pirite oxidation the sulphuric acid appears and thus could be explained the origin of dense nets along the sheeting fissures of the initial channels in the limestone bed in some caves in flysch (A. MIHEVC, 1991), the first phase of initial channels on limestone respectively.

### CONCLUSION

Described gypsum finding sites in Tajna jama and in Kubik have some common properties although they developed in different conditions.



Fig. 4. A characteristic part of the channel in the cave Kubik  
Slika 4. Značilni rov v jami Kubik

Dry cave climate and absence of vertical percolation are common. In Tajna jama the reason lies in uncrushed limestone with almost vertical beds, in the cave Kubik the reason are impermeable marls and sandstones which overlay the cave. The gypsum is in both cases deposited in the sediment which is preserved in upper parts of the cave passage. The gypsum grows in form of crystals, and in Tajna jama in form of blossoms on the walls of the passage.

According to all signs the gypsum takes its origin in the near rocks where the pirite oxidation probable occurs. Sulfate ions come from the source into the cave passage in the form of solution. Where the inflow of this solution is covered by the sediment because of evaporation bigger or smaller crystals occur, where it comes through the pores in the rock the gypsum occurs in a form of blossoms.

The occurrence of gypsum in the altitude of the initial channels in the both caves and the probable origin of gypsum from pirite shows an obvious importance of sulfide oxidation by creating the initial channels in karst. These channels are later transformed by percolating or sinking water in virtual karst conduits.

## REFERENCES

- Ball, T.K. & J.C. Jones, 1990: Speleogenesis in the Limestone Outcrop North of the South Wales Coalfield: The Role of Micro-organisms in the Oxidation of Sulphides and Hydrocarbons. Cave Science, The Transactions of the British Cave Research Association, Vol. 17, 3-9, s.l.
- Geološki zavod Ljubljana, 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, 1: 100 000, list Trst, VGI, Beograd
- Hill, C. A., & P. Forti, 1986: Cave Minerals of the World. 110, Huntsville.
- Kataster JZS in IZRK Postojna.
- Malečkar, F., 1978: Kras v Flišnih kamninah v okolici Kopra. Elaborat, 1-38 arhiv Odseka za geologijo, VTO Montanistika, FNT, Ljubljana
- Mihevč, A., 1981: Ravni stropi, inicialni in stropni kanali ter stropne anastomoze na primerih jam Piskovica in Brlog na Rinskem. Naše jame, 33, 19-28, Ljubljana.
- Naraglav, D., 1978: Zgodovinski pregled raziskav osamljenega krasa v Savinjski dolini. Naše jame, 18, 25-34, Ljubljana.
- Pleničar, M., A., Polšak, D., Šilič, 1973: Osnovna geološka karta SFRJ, Tolmač za list Trst, 1: 100 000, Beograd
- Urbanc, J., 1982: Kamniška jama. Naše jame, 23-24, (1981-82), 25-34, Ljubljana.

## SADRA V TAJNI JAMI IN JAMI KUBIK

### Povzetek

Opisani nahajališči sadre v Tajni jami in jami Kubik imata nekatere skupne značilnosti, čeprav sta nastali v zelo različnih pogojih.

Skupna jima je suha jamska klima ter odsotnost vertikalnega prenikanja. V Tajni jami je vzrok temu nepretrg apnenec s skoraj vodoravnimi plastmi, v jami Kubik pa neprepustni laporji in peščenjaki, ki leže nad jamo. Sadra se v

obeh primerih nahaja v sedimentu, ki je ohranjen v gornjih delih jamskega rova. Sadra raste v obliki monokristalov, v Tajni jami pa tudi v obliki cvetov na stenah rova.

$\text{CaSO}_4$  izvira po vseh znakih sodeč iz okoliške kamnine, kjer prihaja verjetno do oksidacije pirita. Sulfatni ioni prihajajo v jamski rov v obliki raztopine. V jamskih klastičnih sedimentih kristale iz raztopine veliki kristali, kjer pa prihaja raztopina skozi pore v steni rova pa v obliki cvetov.

Pojav sadre v višini inicialnih kanalov obeh jam pa kaže na pomeno oksidacije sulfidov pri tvorjenju inicialnih kanalov v krasu. Te kanale je kasneje preoblikovala prenikajoča ali ponikajoča voda v prave kraške prevodnike.



**FLOWSTONE AS NATURAL STONE**

SIGA KOT NARAVNI KAMEN

RAJKO PAVLOVEC - JOŽE VESEL



**Abstract**

UDC 552.54:551.44(497.12)

**Pavlovec, Rajko & Vesel, Jože: Flowstone as Natural Stone**

Flowstone is an interesting ornamental stone exploited from karst spaces. This is why a special attention must be paid to eventual damage caused to karst phenomena.

Key words: geology, stone cutting, karst

**Izvleček**

UDK 552.54:551.44(497.12)

**Pavlovec, Rajko & Vesel, Jože: Siga kot naravni kamen**

Siga je zanimiv okrasni kamen, ki ga izkoriščajo v kraških predelih. Pri tem je treba še posebej paziti na morebitne poškodbe kraških pojavov.

*Address - naslov*

Prof. dr. Rajko Pavlovec, dipl. ing. geol.  
Katedra za geologijo in paleontologijo  
61000 Ljubljana  
Aškerčeva 12  
Slovenija

Jože Vesel, dipl. ing. geol.  
Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko  
61000 Ljubljana  
Dimičeva 14  
Slovenija

The lecture was held on the International Symposium Minerals in Karst Caves, Postojna, May 7-8, 1992

## INTRODUCTION

In the world the natural stone is a researched building decorative material. At us too it becomes more and more popular and the demand grows. Some parts are tightly connected with the natural stone as the tradition of work and use of natural stone reach far into history. The most expressive such area is Kras where all older houses are built of natural stone. The use of stones from the neighbourhood is extremely well seen on the buildings in the central part of Kras where there are exclusively Cretaceous limestones and people used them only. In Vipava valley the flysch rocks prevail this is why they used flysch sandstones there. On the northern side of Kras is the contact between Cretaceous limestones and Eocene flysch and in the walls of the area limestones and flysch sandstones are met (PAVLOVEC, 1975; KOROŠAK & PAVLOVEC, 1983).

In recent times more distant rocks are used too. The reason lies on one hand in numerous abandoned quarries in Karst and on the other hand on easier transport, widespread industry of natural stone and wish to have a big variety of natural stone to be used by buildings. Therefore it is not astonishing that flowstone is interesting as a natural stone too.

The slovenian geologists have decided together with quarrymen to name natural stone all the rocks which are according to their structure, properties and appearance suitable for elaboration and building. By cutting, carving, polishing and other procedures the natural properties could be stressed but they must not be changed. For natural stone various names were used, f.e. freestone, architecture stone and similar. In contrary to natural stone is technical stone which is used for preparation of aggregates, which is fractured, ground and by other means transformed than were its original properties (VESEL et al., 1992).

Considering the cited description of the natural stone the flowstone belongs there too without regard that it originated by deposition of calcium carbonate from the water in the karst caves, in bigger fissures or smaller cavities. The way of flowstone deposition is important for a natural stone only regarding the quantity of the material which is the basic condition for exploitation of bigger blocks or pieces. Flowstone is composed by bigger, mostly calcite crystals which are coloured regarding various alloys. This is the reason that polished pieces of flowstone have a nice appearance. Some compare it with oak wood (BUSER, 1987).

Quarrymen sometimes call flowstone stalactite which is a wrong expression.

## FINDING SITES OF FLOWSTONE IN SLOVENIA

The most of flowstone exploited as a natural stone originated from karstified spaces in Upper Cretaceous rudist limestones in the Littoral. This was near Kostanjevica, Gorjansko, on Fajtji hrib and on Trstelj, it means on Kras and its borders and in smaller extent elsewhere in Slovenia (figs. 1 to 3). The quarries on Kras were active in the first half of this century and about 1960 this activity ended. After rough estimations they got some hundred cubic metres of blocks only, more flowstone was in smaller pieces. Flowstone was not exploited in bigger extent as it is difficult to find vast finding sites without destroying caves or other karst objects.

## USE

Because of interesting structure flowstone is an attractive material for walls. It is useful for vertical facing and very bad for floors, stairs or lower parts of the buildings. Nice example of flowstone use is wall in one of the corridors in the Republic Assembly in Ljubljana. The structure with various patterns and colours changing is especially attractive.

The central window frame in the southern wall of the church in Škocjan near Matavun is made of flowstone too. Quite a big piece of flowstone was used as the carved part of the frame is 110 x 50 cm. Stone frames of other windows



Fig. 1. Block of flowstone near Gorjansko in the Karst region  
Sl. 1. Blok sige pri Gorjanskem na Krasu.

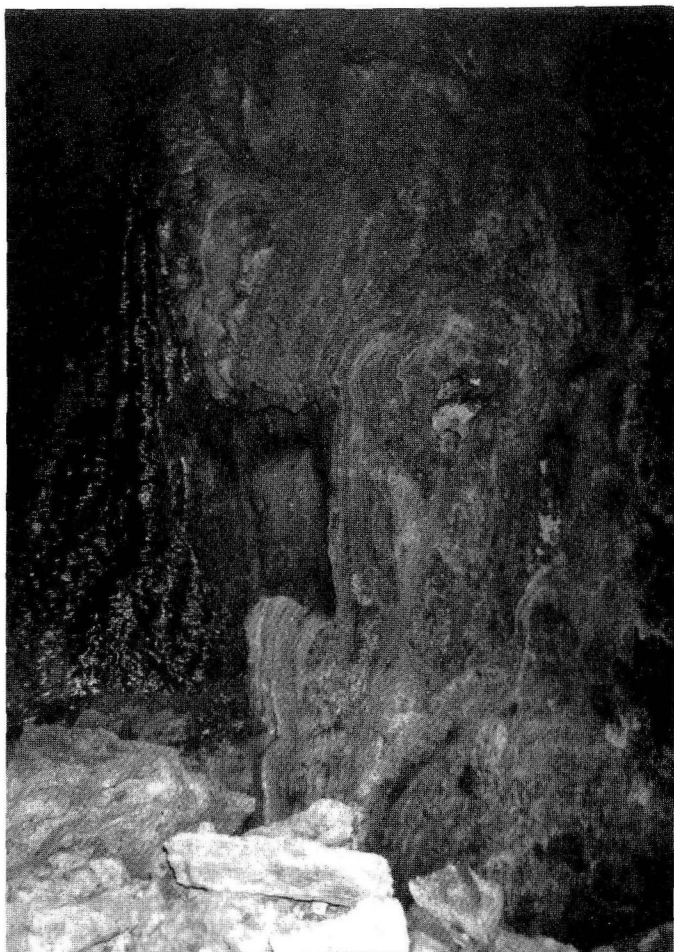


Fig. 2. Flowstone wall sawn off in the karst cave near Gorjansko  
Sl. 2. Žagana stena sige v kraški jami pri Gorjanskem.

in this church are made of rudist limestone. We can suppose that they met during the construction works to flowstone and used it for one window.

The flowstone was used for the porch of Erasmus hole in the Predjama castle. The biggest elaborated piece is 60 cm long, having in cross section 15 x 20 cm. As it is oval the block it has been cut off, had to be a lot bigger. The flowstone was used for the stairs leading into Erasmus hole too. The stairs are 110 cm long, about 30 cm high and about 20 cm wide. As there are several of them they had to use a lot of flowstone and maybe they got it in the near cave system or maybe in some quarry.

As flowstone is an interesting freestone the danger exists that it could be exploited on the places where the speleological objects could be affected. It



Fig. 3. Pieces of flowstone at Rusa jama near Kostanjevica in the Karst region  
Sl. 3. Tomboloni sige pri Rusi jami blizu Kostanjevice na Krasu.  
Photo by Danica Pardo / Fotografirala Danica Parlo

could happen especially by increasing interest for natural stone and in particular by augmenting the stonecutting trade. Cut blocks and quarries leave in flowstone formations a permanent wound as flowstone recovers extremely slowly if at all. As far as we know in this direction a bigger damage was not yet done although one have cut, f.e. near Gorjansko the flowstone in a karst space. But the outward form of the there karst space does not bear any particular importance. Without damage the flowstone could be exploited in existing or abandoned quarries if suitable stocks would exist there.

### CONCLUSION

Today nowhere in Slovenia flowstone is exploited as a natural stone. But the possibility exists that due to increasing interest for natural stone one would search bigger complexes of flowstone decorated spaces which are all connected with karst phenomena or they are in the karst caves even. As flowstone is a specific species of natural stone having big decorative and scientific value in karst spaces it would be necessary to stop immediately its eventual exploitation until suitable precise professional opinion of geologists, speleologists and nature conservationists is got.

## REFERENCES

- Buser, S., 1987: Naravni arhitektonsko-gradbeni kamen v Ljubljani.- Geol. zbornik, 8, 61-67, Ljubljana
- Korošak, B., & R. Pavlovec, 1983: Izkoriščanje kamnin med Renčami in Temnico.- Primor. srečanja, 39-40, 188-190, Nova Gorica
- Pavlovec, R., 1975: Flišne kamnine v službi človeka na Primorskem.- Koledar Goriške Mohorjeve družbe, 158-196, Gorica
- Vesel, J. & D. Strmole & A. Senegačnik & J. Pavšič & R. Pavlovec, 1992: Naravni kamen.- Kamnarsko-geološki leksikon, Inštitut za geol., geotehn. in geofiz., Združenje slov. kamnarske industr., Odsek za geol., 1-101, Ljubljana

## SIGA KOT NARAVNI KAMEN

### Povzetek

Sigo kot naravni kamen so izkoriščali pri Kostanjevici, Gorjanskem, na Fajtjem hribu in Trstlju blizu Komna, torej na Krasu in njegovem obrobju, v manjšem obsegu tudi drugod po Sloveniji (sl.1-3). Kamnolomi na Krasu so obratovali v prvi polovici stoletja, okrog 1960 se je ta dejavnost končala. Po približnih ocenah so pridobili le nekaj sto kubičnih metrov blokov. Sige v večjem obsegu niso izkoriščali, saj je težko dobiti obsežna nahajališča, ne da bi uničili delov jam ali drugih kraških prostorov. Med drugim je siga uporabna za vertikalne obloge, pohodne plošče, stopnice in spodnje dele podzidkov. Lep primer uporabe sige je obloga enega od hodnikov v stavbi Republiške skupščine v Ljubljani. Tam pride posebej do izraza sigina struktura z različnimi vzorci in spreminjanjem barv.

Ker je siga zanimiv okrasni kamen, obstaja nevarnost, da jo začno pridobivati tudi na mestih, kjer bi prizadeli kraške objekte. To se zlasti lahko zgodi ob naraščajočem zanimanju za naravni kamen in še posebno ob širjenju kamnoseškega obrtništva. Odžagani bloki pustijo v sigastih tvorbah trajno rano, saj se siga zelo počasi ali sploh ne obnovi. Kolikor vemo, doslej v tem smislu ni bila narejena večja škoda, čeprav so npr. pri Gorjanskem rezali sigo v kraški jami, toda k sreči le z manjšimi poškodbami kraškega objekta. Brez škode pa bi sigo lahko pridobivali v obstoječih ali tudi opuščenih kamnolomih, če bi v njih našli primerne zaloge.

Dejavnosti, ki bi ogrožale naravno okolje, bi morali skrbno nadzorovati in pridobivanje sige v takih primerih takoj ustaviti. Ker je siga specifična vrsta naravnega kamna, ki ima veliko dekorativno in znanstveno vrednost prav v naravnem okolju, v kraških jamah, je ne bi smeli začeti izkoriščati brez predhodnega strokovnega mnenja geologov, speleologov in naravovarstvenikov.



**45 LET RAZISKOVANJA DEGRADACIJE IN VARSTVA  
SLOVENSKEGA KRASA V INŠTIUTUT ZA  
RAZISKOVANJE KRASA**

**45 YEARS OF KARST DEGRADATION AND PROTECTION  
RESEARCH IN KARST RESEARCH INSITUTE**

ANDREJ KRANJC



**Izvleček**

UDK 551.44(497.12)"1947/1992"

**Kranjc, Andrej: 45 let raziskovanja degradacije in varstva slovenskega krasa v  
Inštitutu za raziskovanje krasa**

Članek ob 45-letnici Inštituta za raziskovanje krasa podaja glavne dosežke njegovih sodelavcev v zadnjih 5 letih ter osvetljuje vlogo Inštituta pri raziskovanju onesnaževanja, degradacije in varstva kraškega površja ter podzemlja v 45 letih dela. Prispevek sloni na podrobnejšem pregledu bibliografije.

Ključne besede: krasoslovje, speleologija, kras, degradacija krasa, varstvo krasa, Inštitut za raziskovanje krasa, Slovenija

**Abstract**

UDC 551.44(497.12)"1947/1992"

**Kranjc, Andrej: 45 years of karst degradation and protection research in Karst  
Research Institute**

At the occasion of 45 anniversary of Karst Research Institute the article treats the main results of the Institute's co-workers in the last 5 years and shows his importance related to pollution and degradation of the karst surface and underground researches in the past 45 years. The work is based on detailed bibliography.

Key words: karstology, speleology, karst, karst degradation, karst protection, Karst Research Institute, Slovenia

*Naslov - Address*

Dr. Andrej Kranjc, viš.znanstv.sodel.,  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU,  
Titov trg 2,  
SLO - 66230 Postojna

## UVOD

Letos mineva 45 let delovanja Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU in s tem prispevkom želim spomniti na ta dogodek in seznaniti širšo strokovno javnost o inštitutskih raziskavah v zadnjih petih letih, saj je bil zadnji tak pregled objavljen v Acta carsologica ob 40-letnici Inštituta (HABIČ, 1987). Obe nem naj bi bil ta prispevek tudi pregled celotnega inštitutskega raziskovalnega dela v zvezi s preučevanjem degradacije kraškega okolja, njegovega onesnaževanja in tudi z našimi prizadevanji za njuno preprečevanje, za varstvo krasa. Ob raznih priložnostih in obletnicah je bilo v zadnjih letih objavljenih več prispevkov o inštitutskem delu. Pregled celotne inštitutske dejavnosti, zaradi obilne snovi in omejenega prostora je zelo skop, v štirih desetletjih (1947–1987) izpod peresa P. Habiča (op.c.), sem že omenil. Kasneje so bili objavljeni različno podrobni pregledi inštitutskih raziskav s področja hidrologije (KRANJC & KRANJC 1989), reševanja prostorske problematike (KRANJC, 1989), aplikativnih (KRANJC, 1989 a) in speleoloških (KRANJC, 1988) raziskav.

## INŠTITUTSKO DELO 1988–1992

V zadnjih petih letih je bil večji del inštitutskega dela posvečen temeljnim in regionalnim raziskavam slovenskega krasa, kot delu dolgoročnega programa "Naravna in kulturna dediščina slovenskega naroda" v okviru ZRC SAZU, ter študiju geologije krasa, kraške hidrologije, geomorfologije, speleološkim in kemijskim raziskavam v okviru raznih temeljnih in aplikativnih nalog. Rezultat tega dela (1988–1992) je preko 200 objavljenih prispevkov, vključno nekaj monografij, v domačem in tujem strokovnem tisku, aktivno sodelovanje na 58 strokovnih srečanjih doma in v tujini, izpeljava 15 študijskih potovanj in strokovnih izmenjav po nekdanji Jugoslaviji (Makedonija, Srbija) in drugod po svetu (Anglija, Avstrija, Francija, Grčija, Indija, Kanada, Madžarska, Oceanija, Nemčija). Del naših prizadevanj je vpet tudi v mednarodne raziskovalne kroge, saj smo sodelovali pri projektih IGCP-UNESCO in Evropske skupnosti ter drugih multi- in bilateralnih projektov. Neposredni rezultat raziskovalnega dela mlajših sodelavcev so tudi nove pridobitve magistrskih (6) in doktorskega naslova (1).

## PREUČEVANJE DEGRADACIJE IN ONESNAŽEVANJA S CILJEM VAROVANJA KRASA

Tudi na krasu degradacija, onesnaževanje, uničevanje, zastrupljanje okolja niso nič manjši, kot na normalnem svetu, le s to razliko, da je po eni strani kras bolj občutljiv na posege, degradacija je bolj očitna na prvi pogled (posebej v odprti pokrajini), deloma pa je onesnaževanje težje opaziti, zato je kras bolj mikaven za potencialne onesnaževalce (izpusti neposredno v kraško podzemlje), kar je še bolj nevarno.

V prvih letih delovanja je bila inštitutska dejavnost, inštitucija se je prvotno imenovala Zavod za raziskovanje krasa oziroma Speleološki inštitut, usmerjena predvsem v dokumentacijo: zbiranje in urejanje podatkov za kataster kraških jam in pripravljane zbirk za speleološki oziroma krasoslovni muzej. S spremembo imena v Inštitut za raziskovanje krasa se je pričela spreminjati tudi raziskovalna usmerjenost. Novi sodelavci so se lotili temeljnih raziskav, s teh so prehajali na aplikativne, ki so bile vedno pogostejše in vedno tesneje povezane tudi s preučevanjem degradacije krasa.

Človek je sprožil degradacijske procese že z obvladovanjem prvih tehnologij, predvsem uporabe ognja. Ker se je razmeroma zgodaj naselil na krasu (v jamah Zhoukoudian so sledovi bivanja izpred nekaj 100.000 let), je deloval v prid degradaciji tudi tam. Seveda posameznih primerov onesnaževanja in devastacije po današnjih merilih še ne smemo imenovati degradacija. Šlo je predvsem za poškodbe v jamah (lomljenje kapnikov, kurjenje, vnašanje tujih snovi), pretežno v vhodnih delih, le redko tudi globlje v notranjosti, kjer je pralovec slikal po jamskih stenah. Vendar danes takih poškodb in ohranjenih sledov "škodljive dejavnosti" ne štejemo v degradacijske dejavnike, ampak v visokovredno kulturno dediščino, ki je lahko tudi velikega gospodarskega pomena (turizem v Franko-kantabrijski coni, vezan na jame s paleolitskimi slikami). Ko občudujemo Predjamski grad, nikakor ne govorimo o uničeni naravni jami, ampak kvečjemu o kulturno oplemenitenem naravnem spomeniku.

Na krasu v Sloveniji, vsaj zaenkrat, drastičnih primerov degradacije v večjem obsegu nimamo. Ker ne nameravam prikazati pregleda degradacije slovenskega krasa, ampak raziskave, ki so jih s tem v zvezi opravili inštitutski sodelavci, bo slika pač ustrezno izkrivljena. Obenem to kaže na pomen, ki ga določena skupina strokovnjakov pripisuje določenemu pojavu.

V 45 letih dela so inštitutski sodelavci objavili preko 1500 znanstvenih in strokovnih prispevkov krasoslovne in speleološke vsebine (KRANJC, 1992), od tega okoli 150 (10 %) takih, ki neposredno obravnavajo onesnaževanje in degradacijo kraškega okolja.

Sodeč po številu objav, je z vidika onesnaževanja oziroma z vidika človeka na krasu, v zadnjih 50 letih najpomembnejši objekt kraška voda, predvsem kot vir pitne vode, njena kvaliteta, onesnaževanje in varovanje. S tem vprašanjem so se inštitutski delavci intenzivno ukvarjali zadnji dve desetletji. Kot uvodni deli naj omenim ŠERKOV (1946) pregled ugotavljanja vodnih zvez ter GAMSOV (1965) pregled kraške hidrologije in vodnih zvez na slovenskem krasu. Počasi smo prišli do spoznanja, da moramo, če hočemo ugotoviti, kaj, kje in kako onesnažuje kraške vode, kako prehajajo onesnažene vode s površja v kraško podzemlje, kako se v podzemlju vode čistijo oziroma kako se onesnaževanje koncentrira, kje prihajajo onesnažene kraške vode spet na dan in kako jih varovati ter zaščititi, preučevati in spoznati ves krogotok vode v krasu. To pomeni od

padavinske vode, ki penika skozi prst in skalo v kraško podzemlje, in ponikalnih tokov do vseh oblik vode v kraškem podzemlju, načina njihovega pretakanja in medsebojnih zvez, do kraških izvirov z vsemi njihovimi hidravličnimi in fizikalno-kemičnimi lastnostmi. Za majhno skupino raziskovalcev z zelo omejenimi finančnimi možnostmi kar prevelik "požirek", a kljub vsemu smo se lotili vseh teh nalog.

Tudi na kras padajo kisle padavine in skušali smo sami ugotavljati, kakšne so konkretno v Postojni (Kogovšek 1988) in preveriti precej vznemirjajoče objave o vplivu takih padavin na kapnike, tudi v Postojnski jami (JAKUCS, 1987). Kaže, da ta pojav, vsaj zaenkrat, za kraško podzemlje ni akuten (KOGOVŠEK, 1989), kar pa ne pomeni, da ni pomemben za kraško površje, saj so tudi gozdovi v kraških pogorjih (Javorniki, Snežnik) ponekod močno poškodovani.

Posebej v zadnjih letih je velik poudarek na preučevanju penikajoče (infiltracijske) vode, ki penika s površja skozi prst in kamnino v podzemlje, saj je ta voda tisto transportno sredstvo, ki neposredno prenaša onesnaževanje, škodljive in strupene snovi, v kraško notranjost oziroma v kraško vodo. Zato je tudi z vidika onesnaževanja podzemlja in kraške vode pomembno poznavanje samega mehanizma penikanja, ki je lahko zelo različen, odvisen od številnih faktorjev, od klimatskih preko vegetacijskih, pedoloških do geoloških in hidravličnih. Penikajočo vodo zato preučujemo z več vidikov (količine, hitrost pretakanja, fizikalno-kemične lastnosti penikle vode), posebej pa seveda njene lastnosti, povezane z onesnaževanjem oziroma kvaliteto teh voda (Kogovšek 1987; 1990). Rezultati so zelo zanimivi, čeprav ne vedno razveseljivi: onesnažena voda lahko v nekaj urah prodre s površja v podzemeljsko vodo skozi preko 100 m debel strop, ne da bi se pri tem njena kvaliteta – koncentracija onesnaženosti – kolikor toliko spremenila.

Precej dela je bilo vloženega tudi v preučevanje drugih oblik onesnaževanja kraške vode, predvsem potom onesnaženih ponikalnic (GOSPODARIČ, 1984; KOGOVŠEK, 1991). Poleg tega obravnavajo dela inštitutskih sodelavcev onesnaževanje vode in podzemlja zaradi izlivov škodljivih tekočin (HABIČ, 1988). Posebej je bil obdelan primer izlitja lagune z gnojevko v kraško ponikalnico (KOGOVŠEK, 1987), vpliv poseljenosti na kvaliteto kraških voda (KOGOVŠEK, 1987 a; KOGOVŠEK, 1991 a), izlitje olja v kraško podzemlje v Žužemberku (HABIČ, 1991) ter vpliv vojaških poligonov na kraško vodo (HABIČ, 1990 a).

Ne toliko zaradi preučevanja onesnaževanja samega, ampak predvsem zaradi preprečevanja onesnaževanja kraških voda, prvenstveno vodnih virov, namenjenih za pitno vodo, je zelo pomembno poznavanje zaledja kraških izvirov, poznavanje podzemeljskih vodnih zvez in tudi, kar ni več toliko raziskovanje, ampak neposredna uporaba raziskovalnih rezultatov v praksi, določanje varovalnih območij posameznih kraških izvirov. Velik del inštitutskih raziskav hidrološke narave je prav v zvezi z določanjem zaledij izvirov in vodnih zvez. Ena največjih takih raziskav je bil nedvomno večletni mednarodni interdisciplinarni raziskovalni projekt "Sledenje podzemeljskih voda v Sloveniji" (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976), podrobna študija podzemeljskih vodnih zvez v porečju Ljubljance med Cerkniškim, Planinskim in Logaškim poljem ter Ljubljanskim barjem. Med preučevanju ostalih vodnih zvez naj navedem le nekaj najpomembnejših: raziskave v zaledju izvirov Mrzlek (zajetje za Gorico) (HABIČ, 1982), Dobličice (rezervni vir za Belo krajino, nadomestek onesnaženega, lahko rečemo popolnoma uničenega kraškega izvira Krupa) (HABIČ, 1990) in Vipave (HABIČ, 1989).

Poleg onesnažene vode oziroma onesnaževanja, ki ga prenaša v podzemlje voda, so tudi druge oblike onesnaževanja in uničevanja kraškega podzemlja, od popolnega uničenja (izkoriščanje oziroma lomljenje apnenca) do zatrpavanj (s smetmi in drugim odpadnim materialom) in nepopravljivih poškodb (na kapnikih, kamnini, sedimentih, favni, kulturnih ostankih).

Inštitutski delavci so opozarjali in analizirali to vprašanje kot celoto (DRA-ME, 1989; HABE, 1972; HABE, 1975) ali pa so se ukvarjali s posameznimi primeri. DROLE (1991) in HABIČ (1985) sta pisala o uničevanju jamskega inventarja, prvi o posledicah vandalskega obnašanja, drugi pa o človekovih posegih v kras, ki vplivajo tudi na razpadanje kapnikov v kraških jamah. Nekatera dela so takorekoč inventarji oziroma sezname uničenih ali vsaj resno ogroženih kraških jam (KRANJC, 1990), drugi pa s tega vidika obravnavajo posamezne jame. Tak je primer Kačne jame (MIHEVC, 1983), ki je nadaljevanje Škocjanskih jam (na seznamu svetovnega seznama naravne dediščine UNESCO), saj tudi skozi njo teče podzemeljska Reka. Izrazit primer je tudi degradacija jamskega okolja zaradi odlaganja organskih odpadkov – konkretno gre za okoli 200 m<sup>3</sup> pokvarjenih salam, odvrženih v kraško brezno (MIHEVC, 1991).

V nič manjši meri, kot z onesnaževanjem in varovanjem podzemlja, so se inštitutski raziskovalci ukvarjali s kraškim površjem. Celotni spekter onesnaževanja, spreminjanja in degradiranja površja, je daleč preširok, da bi se pešiča ljudi lahko uspešno ukvarjala z njim ali ga celo podrobneje preučevala, zato so bila naša prizadevanja omejena na določene pojave in predele. V prvi vrsti moram omeniti Cerknjsko jezero. Vsega skupaj obsega inštitutska bibliografija preko 50 objavljenih del o Cerknjskem jezeru oziroma polju. Nikakor ni mogoče reči, da bi bilo Cerknjsko polje degradirana kraška pokrajina, vendar je pa gotovo tipičen primer spreminjanja kraške pokrajine (KRANJC, 1987; 1987 a; 1988 a), predvsem njene hidrografije. Posebej pozorno smo spremljali poizkus stalnejše ojezeritve Cerknjskega jezera (HABIČ, 1974). Poizkus ni uspel, vendar je precej pripomogel k poznavanju jezera in njegovega hidrološkega mehanizma, obenem so pa po njem ostala razna dela in spremembe v naravi. Zato danes priljubljena krilatica o vzpostavitvi "naravnega stanja" na Cerknjskem jezeru ni povsem na mestu, saj s spremembami, ki bi vzpostavile stanje na jezeru, kakršno je bilo pred pričetkom tega poizkusa, nikakor ne bi dosegli "naravnega stanja", pač pa eno izmed prejšnjih faz. Jezero že vsaj nekaj stoletij ni več v naravnem stanju, ampak je ravnotežje človekovih prizadevanj in naravnih procesov: enkrat je človek bolj težil k osušitvi, drugič bolj k trajnejšemu jezeru. Nikoli ni povsem uspel, saj je Cerknjsko polje še vedno kraško polje s presihajočim jezerom in obenem dokaj uravnovežena kulturna in naravna pokrajina, nikakor toliko degradirana, da človeku ne bi mogla nuditi prijaznega in prijetnega bivalnega okolja. Le izkušnje bi nas morale toliko naučiti, da ne bi človek zdaj, ko s svojo tehniko veliko lažje, morda ne vedno obvlada, pač pa nepopravljivo spremeni ali celo degradira naravo, res storil kaj takega. Vsekakor pa upam, da v tem primeru tudi raziskave inštitutskih sodelavcev niso bile zaman.

Za konec naj omenim še turizem na krasu in v kraških jamah. Inštitut se ni ukvarjal s samim vprašanjem turizma, pač pa s posledicami, ki se zaradi te dejavnosti lahko pokažejo na kraškem površju in v podzemlju. Turizem, tudi množični, ni oblika dejavnosti, ki bi lahko povzročila degradacijo na kraškem površju v večjem obsegu, pač pa lahko usodno vpliva na posamezne pojave ali oblike. Pri nas ogroža turizem predvsem jame. Kot kažejo izkušnje, niso

jame najbolj ogrožene zaradi urejenega množičnega turizma, pač pa zaradi slabo pripravljenih in neuspešnih poizkusov izkoriščanja jam v turistične svrhe. Postojnsko jamo ljudje obiskujejo kot turisti že nekaj sto let, kmalu bo 200 let, kar so v jami pričeli z intenzivnim urejanjem in spreminjanjem za lažji turistični obisk. Lahko sicer rečem, da so deli nekaterih jamskih rogov močno degradirani in deloma uničeni, če jih primerjamo z naravnim stanjem, a nikakor ne toliko, da bi izgubili svoj osnovni cilj, zaradi katerega je bila jama spremenjena – privlačnost za turista (KOGOVŠEK, 1987; KRANJC, 1988 b). Vprašanje je, koliko so strokovne in znanstvene raziskave pomagale ohraniti in obenem propagirati Postojnsko jamo, vendar je nesporno dejstvo, da je bila o rezultatih najrazličnejših raziskav Postojnske jame objavljena cela vrsta strokovnih prispevkov (Kranjc 1989 b). Za to, kaj lahko nastane iz jame, ki jo nekaj navdušencev opremi za turistični obisk, potem se pa izkaže, da podjetje ni donosno, prvotno navdušenje pa uplahne, imamo številne dokaze po vsej Sloveniji. Značilna primera sta Gabrovska jama v Menišiji (DRAME, 1989 a) in Huda luknja nad Velenjem (HABE, 1988). Zaradi tega pristojni organi nikakor ne bi smeli dovoliti urediti in odpreti jame za turistični obisk, dokler niso v njej opravljene vsaj osnovne speleološke raziskave (KRANJC, 1991) in če ni ovrednotena jamska vsebina ter strokovnjaki ne podajo mnenja o načrtih za ureditev. Tudi pri takih, izrazito uporabno usmerjenih raziskavah in delih, smo bili člani inštituta vedno pripravljeni sodelovati in pomagati, v kolikor smo bili seveda povabljeni in zaželeni, kakor kažejo primeri iz Škocjanskih jam (DROLE, 1990; HABIČ, 1983) in iz Postojnske jame (DROLE, 1989; KNEZ, 1990). Posebno pozornost bo treba posvetiti vplivom in posledicam, ki jih na krasu in v kraškem podzemlju pušča t.i.m. alternativni turizem, ki ga v zadnjem času pri nas tako propagiramo. Objavljena so mnenja, da je to lahko rešitev za cele regije. Čeprav to obliko turizma navadno štejemo med "mehki" turizem, pa izkušnje iz tujega, deloma že tudi našega, kraškega podzemlja kažejo prav nasprotno (KRANJC, 1988 c; DROLE, 1991).

## SKLEP

Menim, da je podanih dovolj primerov raziskav krasoslovne in speleološke narave, ki naj pokažejo, da so strokovnjaki – sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa – v 45 letih opravili celo vrsto osnovnih raziskav, ki jih je mogoče s pridom uporabiti tako pri ugotavljanju sedanjega stanja ohranjenosti, onesnaženosti in degradacije kraškega površja in podzemlja, pri načrtovanju potrebnih varstvenih ali celo sanacijskih ukrepov kot tudi pri načrtovanju rabe in urejanja prostora v najširšem smislu. Poleg osnovnih smo opravili tudi celo vrsto usmerjenih raziskav, precejšnje število terenskih ogledov in sestavili strokovna mnenja o ozko omejenih posameznih primerih ali vprašanjih. To je razvidno iz razmeroma obsežnih bibliografij, priloženih tem sestavku, ki predstavljata bistveni del prispevka. V kolikor se bodo tudi s pomočjo mojega prispevka krogi in organizacije, ki so zadolžene za skrb nad našim okoljem, še posebej nad našo pokrajino, malo bolj zavedli, koliko koristnih, a žal neuporabljenih podatkov zberejo strokovnjaki v daljšem času, četudi smo se vedno pritoževali, da so sredstva za osnovne raziskave daleč prepičla, potem družbena sredstva, vložena v delo Inštituta, niso bila izgubljena.

## **45 YEARS OF KARST DEGRADATION AND PROTECTION RESEARCH IN KARST RESEARCH INSTITUTE**

### **Summary**

In 45 years of the existence the co-operators of the Institute have published over 1500 scientific and professional contributions of karstological and speleological substance (Kranjc 1992), 150 out of them are directly related to the pollution and the degradation of the karst environment.

In the last 50 years the most important object regarding the pollution was the karst water. As the introduction works let me mention ŠERKO's (1946) review on the underground water connections and GAMS's (1965) review of the karst hydrology and water connections in our karst. If one wants to state what, where and how the karst water is polluted, how the polluted waters pass from the surface to the underground, what is the degree of autopurification or how the pollution is concentrated, where the polluted waters reappear on the surface and how to protect them, the whole cycle of the water circulation in the karst has to be studied and must be known. We tried to state how acid the precipitations in Postojna are (KOGOVŠEK, 1988) and we checked up rather disturbing publications of the acid water influence on the speleothems, in Postojnska jama too (JAKUCS, 1987). It seems, that at least for now, this phenomenon is not so acute for our underground (KOGOVŠEK, 1989) but it does not mean that it is harmless for the karst surface.

Percolating water is studied from several points of view (quantity, velocity of percolation, physico-chemical properties of the seepage water) and in particular its properties connected by pollution, quality of the waters respectively (Kogovšek 1987; 1990). The results are very interesting although not always encouraging: polluted water could penetrate in some hours from the surface into the underground stream through 100 m thick ceiling without essentially decreasing its pollution.

A lot of efforts were engaged into the study of other forms of pollution of the karst water, namely by polluted sinking streams (GOSPODARIČ, 1984; KOGOVŠEK, 1991). The Institute's members studied the water and the underground pollution due to spill of harmful liquids (HABIČ, 1988). Concrete examples are liquid manure flow out of the lagoon into the karst sinking stream (KOGOVŠEK, 1987), the influence of settlements to the quality of karst water (KOGOVŠEK, 1987a; KOGOVŠEK, 1991a), oil spill into the karst underground (HABIČ, 1991) and the influence of military polygon to the karst water (HABIČ, 1990 a).

The knowledge of the springs background and water connections is very important to define the protection areas of the karst springs. A big part of the Institute's studies of hydrological nature is connected to definition of springs hinterland and water connections. One of the biggest studies of such kind was international interdisciplinary research project lasting for several years "Underground water tracing in Slovenia" (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976). As the application researches let us cite the study of Mrzlek (HABIČ, 1982), Dobličica (HABIČ, 1990) and Vipava (HABIČ, 1989) springs hinterland.

The Institute's collaborators warned against and analysed other forms of pollution and devastation of the karst underground (DROLE, 1991; HABIČ, 1985). Some works present an inventory of destructed or at least severely threatened karst caves (KRANJC, 1990), others treat particular caves, Kačna

jama f.i.(MIHEVC, 1983). An outstanding example of cave environment degradation are hundreds of m<sup>3</sup> of tainted salami thrown into the karst pothole (MIHEVC,1991).

Referring to studies of pollution, changing and degradation of the surface the Polje of Cerknica has to be mentioned. In the total Institute's bibliography there are more than 50 works dedicated to this periodical lake. Hundred years of regulations on Cerknica polje are typical example of transformation of the karst landscape (KRANJC,1987; 1987a; 1988), its hydrography in particular. The unsuccessful attempt of creating the permanent lake on the Cerknica polje was attended by special attention (HABIČ,1974).

The Institute treated as well the consequences of the touristic activity. Tourism does not cause the degradation of the karst surface in bigger extent but can hazardously influence to single phenomena or features. At us the caves are threatened in particular. The show-caves displayed for the mass tourism are not the most endangered but could be due to badly preparations and unsuccessful attempts of cave exploitation for touristic aims. It is question how much professional and scientific studies helped to preserve and at the same time to popularize Postojnska jama, but the fact remains that a series of professional contributions was published on the results of various investigations (KRANJC,1989 a). What can happen to the cave which is displayed by some enthusiasts for the touristic visit and they later find out that the enterprise is not profitable, the initial enthusiasm dies out, give evidence numerous examples all over Slovenia (DRAME,1989 a; HABE,1988). The members of the Institute frequently took part at the distinctive application studies for the cave tourism, f. e. in Škocjanske jame (DROLE,1990; HABIČ,1983) and in Postojnska jama (DROLE, 1989; KNEZ,1990). A special attention has to be paid to the influences and impact of so-called alternative tourism in the karst underground which is very popular at us too in the last time, but the experiences elsewhere show that the impact could be strongly negative (KRANJC,1988 a; DROLE,1991; MIHEVC, 1992).

#### UPORABLJENI VIRI IN LITERATURA:

- Drame, L., 1989: Onesnažene in uničene jame v občini Cerknica.- Naše jame, 31, 49-52, Ljubljana
- Drame, L., 1989 a: Gabrovška jama, the former show cave.- Cave Tourism, Proceedings of International Symposium at 170-anniversary of Postojnska jama, Postojna (Yugoslavia), November 10-12, 1988, 39-40, Postojna
- Drole, F. & M. Knez, 1989: Geodetska izmera Postojnske jame, del "Gornji Tartarus in Otoška jama".- Elaborat, pp. 13, Postojna
- Drole, F. & M. Knez & J. Kogovšek & A. Kranjc & A. Mihevc & T. Slabe & N. Zupan, 1990: Raziskave Škocjanskih jam - obnova in preureditev poti.- I. faza: Globočak - Paradiž.- Elaborat, pp. 20, Postojna
- Drole, F., 1991: Objestnost ne pozna meja.- Naše jame, 33, 154-155, Ljubljana
- Gams, I., 1965: Aperçu sur l'hydrologie du karst slovène et sur ses communications souterraines.- Naše jame, 7, 51-60, Ljubljana
- Gospodarič, R. & P. Habič, 1976: Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972-1975.- P. 312, Ljubljana.
- Gospodarič, R. & P. Habič & J. Kogovšek, 1984: Kraške in hidrogeološke značil-



- nosti Košanske doline ter njen prispevek k onesnaženosti Notranjske Reke.- Acta carsologica, 12 (1983), 67-89, Ljubljana
- Habe, F., 1972: Zaščita podzemeljskega kraškega sveta .- Zelena knjiga o ogroženosti okolja v Sloveniji, 25-29, Ljubljana
- Habe, F., 1975: Naloge jamarjev pri zaščiti kraškega podzemlja .- Naše jame, 17, 173-178, Ljubljana
- Habe, F. A. Kranjc & M. Kranjc, 1988: Jamski turizem na Slovenskem in njegove perspektive.- Elaborat, pp. 471, Postojna
- Habič, P., 1974: Tesnenje požiralnikov in presihanje Cerkniskega jezera.- Acta carsologica, 6, 35-56, Ljubljana
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje.- Acta carsologica, 10 (1981), 45-73, Ljubljana
- Habič, P., 1985: Razpadanje in uničevanje kapnikov pod vplivom naravnih dogajanj in človekovega poseganja v kras (18-19).- Naš krš, 11, 21-31, Sarajevo
- Habič, P., 1987: Ob 40-letnici Inštituta za raziskovanje krasa Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti.- Acta carsologica, 16, 11-18, Ljubljana
- Habič, P., 1988: Ogroženost kraških voda zaradi izlivov škodljivih tekočin.- Ujma, 2, 83-86, Ljubljana
- Habič, P. & A. Kranjc & J. Kogovšek & M. Zupan, M., 1989: Speleohidrološke Sledenje Pivke pri Trnju in Stržena pri Rakitniku.- 30 str. + 13 slik + 7 prilog, Postojna
- Habič, P. & J. Kogovšek & M. Bricelj & M. Zupan, 1990: Izviri Dobličice in njihovo širše kraško zaledje.- Acta carsologica, 19, 7-100, Ljubljana
- Habič, P. & J. Kogovšek, 1990 a: Ogroženost krasa in podzemnih voda na območju vojaških poligonov v občini Postojna.- 3 str. + 3 pril., Postojna
- Habič, P. & J. Kogovšek & F. Drole & L. Drame & M. Zadel, 1991: Sledenje onesnažene kraške vode po razlitju olja v tovarni kemičnih kondenzatorjev Žužemberk.- 12 str. +6 tabel + 9 prilog, Postojna
- Jakucs, L., 1987: Traces of effects of acid rain (sedimentation) in the re-dissolution of cave dripstones.- Endins, 13, 49-57, Ciutat de Mallorca
- Kogovšek, J., 1987: Poročilo o analizah vode Nanošice po izlitju gnojevke iz lagune farme KZ.- Elaborat, 2 str. + 3 priloge, Postojna
- Kogovšek, J. A. Kranjc, 1987 a: Kvaliteta voda na Notranjskem.- Notranjska, Zbornik 14.zborovanja slovenskih geografov, 167-178, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1988: Opazovanje kislosti padavin v Postojni v letih 1985-87.- Geografski vestnik, 60, 21-29, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1990: The Influence of the Acid Precipitations to Processes in Postojnska jama.- Newsletter, Geology, Climate, Hydrology and Karst Formation, IGCP 299, Institute of Karst Geology, 66-67, Guilin
- Kogovšek, J., 1991: La qualité de la rivière à perte Pivka dans les années de 1984 jusqu'au 1990.- Acta carsologica, 20, 167-186, Ljubljana
- Kogovšek, J., 1991 a: The influence of population to water quality in karst - the example from Pivka basin.- Studia carsologica, 5, 61-67, Brno
- Kranjc, A., 1987: Cerknisko jezero - an example of man's impact on karst hydrology.- Man's impact in Dinaric Karst (Guide-book), 65-79, Ljubljana
- Kranjc, A., 1987 a: Cerknisko jezero, primer človekovega vpliva na kraško hidrografijo.- Notranjska, zbornik 14.zborovanja slovenskih geografov, 155-166, Ljubljana

- Kranjc, A., 1988: Vloga Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v povojnem slovenskem jamarstvu (ob 40-letnici IZRK na rob).– Naše jame, 30, 30–33, Ljubljana
- Kranjc, A., 1988 a: Načrtom o izkoriščanju in spreminjanju Cerkniškega jezera na rob (Ob 300-letnici prvega Valvasorjevega opisa Cerkniškega jezera).– Primorska srečanja, 12, 636–637, Nova Gorica
- Kranjc, A., 1988 b: Un peu sur l'histoire de l'aménagement de Postojnska jama.– Table ronde franco-polonaise (Abstraits et compte-rendu), 20–23, Sosnowiec
- Kranjc, A., 1988 c: Kritično število obiskovalcev jam (Simpozij o ekologiji in zaščiti alpskega krasa).– Planinski vestnik, 88, 479–480, Ljubljana
- Kranjc, A. & M. Kranjc, 1989: Prispevek Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU k poznavanju kraške hidrologije (Ob 40-letnici).– Naš krš, 15, 26–27, 105–109, Sarajevo
- Kranjc, A., 1989: Prispevek geografov Inštituta za raziskovanje krasa k reševanju prostorske problematike.– Dela, Odd. za geografijo FF, 6, 117–126, Ljubljana
- Kranjc, A., 1989 a: A historical review of applied science at the Institute of Karst Research, Postojna, Yugoslavia.– 3<sup>rd</sup> Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Engineering and Environmental Impacts of Sinkholes and Karst, 257–259, Rotterdam
- Kranjc, A. & J. Kogovšek, 1989 b: History of natural science investigations in Postojnska jama.– Cave Tourism, 103–111, Postojna
- Kranjc, M., 1992: Bibliografija 1951–1992.– Elaborat, IZRK ZRC SAZU, 1–59, Postojna
- Mihevc, A., 1991: Poročilo o obisku Socerbske jame za Vrhom.– 5 str. + 3 skice + 11 slik (s filmom), Postojna
- Mihevc, A., 1992: Cave tourism and the problems of the cave protection in Slovenia. – in print
- Šerko, A., 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji.– Geografski vestnik, 18, 125–139, Ljubljana

#### BIBLIOGRAFIJA

- Gams, I., 1962: Ivačičeva ledena jama pod Kredarico.– Planinski vestnik, 62, 296–300, Ljubljana
- Gams, I., 1962: Velo polje – tako kot je in kot naj bi bilo.– Planinski vestnik, 18, 217–223, Ljubljana
- Gams, I., 1963: Jamski turizem, razvoj v polpretekli dobi in sedanja problematika.– Turistični vestnik, 11, 293–295, Ljubljana
- Gams, I., 1963: Kraški turizem v polpretekli dobi in sedanja problematika.– Turistični vestnik, 11, 298–301, Ljubljana
- Gantar, J. & D. Kuščer & R. Savnik & J. Gantar, 1959: Ravenska jama.– Acta carsologica, 2, 5–25, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1989: Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke.– Acta carsologica, 18, 21–37, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1982: Karstwasserprobleme in Slowenien.– Gas-Wasser-Wärme, 36, 172–174

- Habe, F., 1971: Die Eishöhlen im slowenischen Karst.- Slovensky kras, 9, 135-150, Liptovski Mikulaš
- Habe, F., 1972: Eis- und Schneehöhlen in Jugoslawien und ihre Verbreitung.- 5.Congrès International de Spéléologie, 3, 56-59, Stuttgart
- Habe, F. & H. Ilming, 1975: Zum Internationalen Jahr des Höhlenschutzes.- Die Höhle, 26, 1-3, Wien
- Habič, P., 1973: Simpozij o zaštiti prirode u našem kršu. JAZU, 1971, Zagreb.- Geografski vestnik, 45, 117-118, Ljubljana
- Habič, P., 1976: Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniki in problemi izrabe kraških voda za oskrbo.- Acta carsologica, 7, 215-256, Ljubljana
- Habič, P. & R. Gospodarič, 1979: Kraški pojavi Cerknškega polja.- Acta carsologica SAZU, 8 (1978), 11-162, Ljubljana
- Habič, P., 1983: Turistične poti in organizacija obiska v Škocjanskih jamah.- Medn.simpozij Zaščita krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, 105-110, Sežana
- Habič, P. & R. Gospodarič & J. Kogovšek, 1984: Kraške in hidrogeološke značilnosti Košanske doline ter njen prispevek k onesnaženosti Notranjske Reke.- Acta carsologica, 12 (1983), 67-89, Ljubljana
- Habič, P., 1987: The problematics of karst water use and protection on the example of Unica near Postojna.- Karst and man, Proceedings of the International Symposium on Human Influence in karst, 7-18, Ljubljana
- Habič, P., 1987: The Renčelica Doline near Sežana.- Man's impact in Dinaric Karst (Guide-book), 115-117, Ljubljana
- Habič, P., 1987: Use and regulation of karst poljes in Yugoslavia.- Endins, 13, 83-86, Ciutat de Mallorca
- Habič, P., 1989: Cave tourism and the karst park of Notranjska.- Cave Tourism, Proceedings of International Symposium at 170-anniversary of Postojnska jama, Postojna (Yugoslavia), November 10-12, 1988, 74-77, Postojna
- Habič, P., 1989: Slovenski kras in njegovo vodno bogastvo.- Slovenija 88: okolje in razvoj, 89-94, Ljubljana
- Kogovšek, J., 1985: Vertikalno prenikanje padavinske in odpadne vode skozi strop Pivke jame (18-19).- Naš krš, 11, 39-46, Sarajevo
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1986: Kisle padavine na krasu - primer iz Postojne.- Naš krš, 12, 31-36, Sarajevo
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1986: Kisli dež v Postojni.- Naše okolje, 11, 27, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1986: Kisli dež v Postojni.- Življenje in tehnika, 37, 45-46, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1986: Še o kislem dežju - tokrat v Postojni.- Proteus, 48, 233-234, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1987: Kisle padavine.- Obzornik, 6, 478-480, Ljubljana
- Kogovšek, J., 1987: Naravno čiščenje sanitarnih odplak pri vertikalnem prenikanju v Pivki jami.- Acta carsologica, 16, 123-139, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1987: Postojnska jama (Postojna Cave) - an example of man's impact on the karst underground by tourism.- Man's impact in Dinaric Karst (Guide-book), 29-38, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1988: A csapadék és Postojna-barlang szivargó vízének Osszehasonlito elemzése.- Karst és Barlang, 111-112, Budapest

- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1989: Vpliv kislih padavin na procese v Postojnski jami.- *Acta carsologica*, 18, 221-232, Ljubljana
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1990: Karst water pollution through vertical percolation in Slovene Dinaric karst.- *Studia carsologica*, Proceedings of the International Conference on Anthropogenic Impact and Environmental Changes in Karst, 2, 65-73, Brno
- Kranjc, A., 1972: Kraški svet Kočevskega polja in izraba njegovih tal.- *Geografski zbornik*, 13, 129-194, Ljubljana
- Kranjc, A., 1976: Poskus valorizacije kraških votlin v občini Kočevje z naravovarstvenega vidika.- *Varstvo narave*, 9, 3-20, Ljubljana
- Kranjc, A., 1978: Jamska siga kot zdravilo.- *Proteus*, 41, 124, Ljubljana
- Kranjc, A., 1979: Kras v povirju Ljubije.- *Geografski vestnik*, 51, 31-42, Ljubljana
- Kranjc, A. & J. Hladnik, 1979: The influence of man on cave sedimentation.- *Actes du Symp. Int. sur l'érosion karstique UIS*, 117-123, Nîmes
- Kranjc, A., 1981: Letošnja huda zima in klima v Jami (Predjami) .- *Proteus*, 43, 357-359, Ljubljana
- Kranjc, A., 1982: Sedimenti iz Babje jame pri Mostu na Soči.- *Acta carsologica*, 10 (1981), 197-212, Ljubljana
- Kranjc, A., 1983: Speljava hitrih cest čez kras.- *Obzornik*, 4, 316-319, Ljubljana
- Kranjc, A., 1984: Speleološke značilnosti osrednje Dolenjske in Bele krajine.- *Dolenjska in Bela Krajina*, 13. zborovanje slovenskih geografov, 67-76, Ljubljana
- Kranjc, A. & M. Luzar, 1984: Speleološki inventar Bele krajine.- 9. jugoslovanski speleološki kongres, 345-351, Zagreb
- Kranjc, A., 1985: Poplavni svet na Pivki.- *Ljudje in kraji ob Pivki*, 2, 155-172, Postojna
- Kranjc, A., 1986: Cerkniško jezero in njegove poplave.- *Geografski zbornik*, 25, 75-123, Ljubljana
- Kranjc, A. & A. Mihevc, 1988: Poplavni svet ob Notranjski Reki.- *Geografski zbornik*, 28, 195-218, Ljubljana
- Kranjc, A., 1989: Tudi jame za turizem (Ob mednarodnem simpoziju).- *Lipov list*, 31, 14, Ljubljana
- Kranjc, A., 1990: Dolenjski kraški svet.- *Dolenjska založba*, 1-240, Novo mesto
- Kranjc, A., 1990: Fluvial Cave Sediments Reflecting Human Impact on Nature.- *Newsletter, Geology, Climate, Hydrology and Karst Formation*, IGCP 299, Institute of Karst Geology, 69-73, Guilin
- Kranjc, A., 1990: Jamski turizem na Krasu - med najstarejšimi turističnimi panogami.- *Primorje*, 15. zborovanje slovenskih geografov, 237-240, Portorož
- Kranjc, A., 1991: Alpine Karst in Slovenia - its Pollution and Conservation.- *Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift Die Höhle*, 39, 75-77, Wien
- Kranjc, A. & S. Šebela & N. Zupan, 1991: Contribution to the problematics of communications on karst and their impact on environment. New Motorway across karst.- *Studia carsologica*, 5, 69-83, Brno
- Kranjc, A., 1991: Pomen raziskovanja pri varstvu turističnih jam.- *Naše jame*, 33, 42-44, Ljubljana
- Kranjc, A. & A. Mihevc, 1991: Poplave decembra 1990 ob Notranjski Reki.- *Ujma*, 5, 142-144, Ljubljana

- Malečkar, F., 1983: Valorizacija jame Dimnice.- Medn. simp. Zaščita krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, 101-104, Sežana
- Mihevc, A., 1983: Onesnaženje Kačne jame.- Medn. simp. Zaščita krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam, 57-59, Sežana
- Mihevc, A. & M. Luzar, 1987: Antropogeni vplivi na ponore Logaščice.- Naš krš, 13, 59-64, Sarajevo
- Mihevc, A., 1987: Logatec, Logaško polje, and Logaščica.- Man's impact in Dinaric Karst (Guide-book), 60-64, Ljubljana
- Šuštersič, F., 1970: Kristalne jame pod Babjim zobom.- Glas podzemlja, 12-15

## ELABORATI

- Drole, F. & M. Knez & J. Kogovšek & A. Kranjc & A. Mihevc & T. Slabe & N. Zupan, 1990: Raziskave Škocjanskih jam - obnova in preureditev poti. 1. faza: Globočak - Paradiž (Končno poročilo).- 20 str. + 11 slik + 6 prilog, Postojna
- Čar, J. & P. Habič, 1989: Strokovne podloge za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog kot osnova za sprejem odloka za zaščito: zaledja izvirov Boke, Bočiča in Glijuna, povirij Koritnice, Tolminke, Zadlaščice.- 37 str. + 5 prilog + 2 tabeli, Idrija
- Habič, P., 1987: Raziskovanje Dobljčice, 1. faza, poročilo za leto 1986. Projekt: Idejna rešitev regionalne vodne preskrbe Bele Krajine do leta 2050.- 37 str. + 12 prilog, Postojna
- Habič, P., 1988: Raziskovanje Dobljčice, 2. faza, poročilo za leto 1987. Projekt: Idejna rešitev regionalne vodne preskrbe Bele Krajine do leta 2050.- 34 str. + 8 prilog, Postojna
- Habič, P. & J. Čar, 1988: Strokovne osnove za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog Trnovsko-Banjske planote.- 27 str. + 5 prilog, Nova Gorica
- Habič, P. & J. Kogovšek & M. Zupan & M. Kolbezen & M. Bricelj & A. Kranjc, 1989: Raziskovanje Dobljčice. 3.faza, poročilo za leto 1988. Priloga 4/1.- 34 str. + 4 pril., Postojna
- Habič, P. & M. Knez & J. Kogovšek & A. Kranjc & A. Mihevc & T. Slabe & S. Šebela & N. Zupan, 1990: Kraški pojavi v trasi avtoceste Kozina-Rupa.- 3-24, 22 prilog, Postojna
- Habič, P. & J. Kogovšek & A. Kranjc & A. Mihevc & M. Bricelj & M. Zupan, 1990: Speleohidrološke raziskave zaledja Dobljčice, IV. faza. Sledenje voda v zaledju Dobljčice in varstvena območja.- 23 str + 5 slik + 3 priloge, Ljubljana
- Habič, P. & A. Kranjc & J. Kogovšek & M. Bricelj & N. Zupan & F. Drole & L. Drame & M. Zadel, 1991: Raziskovanje Dobljčice in Krupe, 5. del, poročilo za leto 1990.- 82 str. + 22 slik, Postojna
- Habič, P. & A. Kranjc & J. Kogovšek & N. Zupan & F. Drole & L. Drame & M. Zadel, 1992: Speleohidrološke raziskave na razvodju reke Krke in Krupe. Poročilo za 1991.- 23 str. + 8 pril. analize vzorcev 11 str., Postojna
- Knez, M. & J. Kogovšek & A. Kranjc & A. Mihevc & S. Morel, 1990: Speleohidrološke značilnosti območja mesta Sežane.- 16 str. + 1 karta + 8 prilog, Postojna
- Knez, M. & J. Kogovšek & A. Kranjc, 1990: Strokovne osnove za pripravo predloga o zavarovanju površja nad Postojnsko jamo.- 30 str. + 16 prilog, Postojna

- Knez, M. & A. Kranjc & S. Šebela, 1991: Ocena možnih lokacij odlagališča komunalnih odpadkov v občini Ilirska Bistrica.- 2-12, 3 pril., Postojna
- Knez, M. & A. Kranjc & S. Šebela, 1991: Predlog možnih lokacij odlagališča odpadkov v občini Postojna.- 9 str. + 3 pril., Postojna
- Knez, M. & A. Kranjc & S. Šebela, 1991: Pregled možnih lokacij odlagališča komunalnih odpadkov na ozemlju občine Sežana.- 17 str. + 7 prilog, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1987: Opazovanje kislosti padavin v Postojni (Končno poročilo za leto 1986).- 18 str. + 5 prilog, Postojna
- Kogovšek, J., 1988: Kvaliteta prečiščenih voda na čistilni napravi Stara vas.- 4 str. + 2 prilogi, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1988: Opazovanje kislosti padavin v Postojni (Končno poročilo za leto 1987).- 24 str. + priloge, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1989: Kisle padavine in njihov vpliv na kapnike (Končno poročilo za leto 1988).- 20 str. + 3 slike + 4 diagrami, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc & A. Mihevc & S. Šebela & M. Urleb & M. Zlokolica & N. Zupan, 1989: Ocena naravnih pogojev za lokacijo postojnskega odlagališča komunalnih odpadkov.- 44 str. + 7 prilog, Postojna
- Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1992: Strokovno mnenje o izcednih vodah deponije Stara vas.- 7 str. + 3 slike, Postojna
- Kranjc, A. & A. Mihevc & S. Šebela, 1992: Poročilo: Kraški pojavi v trasi vodovoda Rižana - Rodik.- 5 str. + 4 pril., Postojna
- Kranjc, A., 1992: Strokovne podlage za razglasitev Cerkniškega jezera za naravno znamenitost, Kraški objekti in pojavi.- 7 str. + 1 pril., Postojna
- Mihevc, A., 1989: Nekaj pripomb in zamisli k urejenosti Postojnske jame.- 7 str. + 8 fotografij, Postojna
- Šebela, S. & M. Zlokolica & T. Slabe, 1988: Speleološka ocena kamnoloma Lokvica.- 8 str. 6 prilog, Postojna
- Štrucl, I., 1990: Hidrogeološko poročilo za ureditev oskrbe vode na odlagališču inertnih odpadkov v grapi pod Meležnikom.- 2 str. + 3 pril., Postojna
- Štrucl, I., 1990: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah v zgornjem delu porečja Meže (Problem oskrbe Črne na Koroškem z vodo).- 16 str. + 7 pril., Ravne na Koroškem

ISSN 0583 – 6050

ACTA CARSOLOGICA  
KRASOSLOVNI ZBORNIK  
XXI  
1992

Izdala  
Slovenska akademija znanosti in umetnosti  
v Ljubljani

Tehnična ureditev s programom Steve  
Milojka Žalik Huzjan

Natisnila  
Tiskarna Lotos  
Postojna  
1993

Naklada 1200 izvodov