

11-22-1990

## Acta carsologica, Volume 19, November 22, 1990

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 19, November 22, 1990" (1990). *KIP Articles*. 70.  
[https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_articles/70](https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/70)

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).

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

XIX  
1990



LJUBLJANA  
1990

SPREJETO NA SEJI RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE  
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI  
DNE 21. NOVBMBRA 1990  
IN NA SEJI PREDSEDSTVA SAZU  
DNE 22. NOVEMBRA 1990

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

UREDNIK  
PETER HABIČ

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

Tiskano s subvencijo Republiškega sekretariata za raziskovalno dejavnost in tehnologijo in  
Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU

## VSEBINA – CONTENTS

<i>Peter HABIČ, Janja KOGOVŠEK, Mihael BRICELJ, Martina ZUPAN</i>	
Izviri Dobličice in njihovo širše kraško zaledje.....	5
Dobličica springs and their wider karst background.....	97
<i>Jože JANEŽ, Jože ČAR</i>	
Kraški izvir Kajža in njegovo zaledje.....	101
Karst spring Kajža and its hydrological background.....	134
<i>Janja KOGOVŠEK</i>	
Značilnosti pretakanja padavin skozi strop Taborske jame.....	139
The properties of precipitations seeping through the Taborska jama roof....	156
<i>Janko URBANČ, Janja KOGOVŠEK, Jože PEZDIČ</i>	
Izotopska sestava kisika in ogljika v vodi iz Taborske jame.....	157
Isotopic composition of oxygen and carbon in waters from Taborska jama	163
<i>Tadej SLABE</i>	
Skalne oblike v dveh poligenetskih jamah visokega krasa.....	165
Rocky features in two poligenetic caves of high karst.....	196
<i>Alfredo BINI, Mirco MENEGHEL, Yves QUINIF, Ugo SAURO,</i>	
<i>Chiara SIORPAES</i>	
Discovery of quartz pebbles on summit surfaces in the Altipiani Ampezzani (Dolomites, NE Italy).....	197
Odkritje kremenovih prodnikov na ovršju Ampezzanskih visokih planot (Dolomiti, NE Italija).....	206
<i>Mirco MENEGHEL, Ugo SAURO</i>	
Reflection about high mountain karst environments and their fragility in the Dolomites.....	207
Razmišljanja o visokogorskem krasu Dolomitov in njegovi ranljivosti.....	214





# IZVIRI DOBLIČICE IN NJIHOVO ŠIRŠE KRAŠKO ZALEDJE

DOBLIČICA SPRINGS AND THEIR WIDER  
KARST BACKGROUND

Peter HABIČ, Janja KOGOVŠEK, Mihael BRICELJ,  
Martina ZUPAN

**Izvlček**

UDK 551.444.5(497.12)

**Habič, Peter; Janja Kogovšek; Mihael Bricelj; Martina Zupan: Izviri Dobličice in njihovo širše kraško zaledje**

Poleg geološkega, geomorfološkega in hidrografskega pregleda visokega odtočnega krasa na razvodju med Krko in Kolpo ter nizkega zajezenega krasa s številnimi izviri v zahodnem obrobju Bele krajine (Slovenija, Jugoslavija) so prikazani rezultati hidroloških meritev nizkih voda, fizikalno kemičnih analiz izvirov na obrobju Kočevskega Roga in Poljanske gore, poskusnega črpanja stalnih zalog Dobličice in sledenja ponikalnic Rinže, Kačjega potoka, Koprivnika in Željnskega potoka, Vrčice, Ponikev na Mirni gori in Miklarjevega zdenca na Poljanski gori. Ugotovljeno je kraško zaledje Dobličice in sosednjih izvirov ter bifurkacija na razvodju med Krko in Kolpo. Kraški relief in hidrogeološke razmere so v veliki meri pogojene z mlado tektoniko.

*Ključne besede:* Dinarski kras, hidrologija, hidrokemija, sledenje voda, varstvo voda, Bela krajina, Slovenija.

**Abstract**

UDC 551.444.5(497.12)

**Habič, Peter; Janja Kogovšek; Mihael Bricelj; Martina Zupan: Dobličica springs and their wider karst background**

Beside geological, geomorphological and hydrographical survey of high outflow karst on the watershed between Krka and Kolpa and low impounded karst with several springs in western border of Bela krajina (Slovenia, Yugoslavia) the results of hydrological measurements of low waters, physico-chemical analyses of springs on the border of Kočevski Rog and Poljanska gora, test pumping of permanent Dobličica storage and water tracing of Rinža, Kačji potok, Koprivnik, Željnski potok, Vrčice, Ponikve sinking-streams on Mirna gora and Miklarjev zdenec on Poljanska gora are presented. The Dobličica and near lying springs karst background was stated as well as bifurcation on the watershed between Krka and Kolpa. Karst relief and hydrogeological conditions are mostly controlled by neotectonics.

*Key words:* Dinaric karst, hydrology, hydrochemistry, water tracing, water protection, Bela krajina, Slovenia

Naslov - Address

Prof. dr. Peter Habič, dipl. geogr.

Mag. Janja Kogovšek, dipl.ing. chem.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU,  
YU 66230 POSTOJNA, Titov trg 2

Mag. Mihael Bricelj, dipl.biol.

Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani  
YU 61000 LJUBLJANA, Karlovska

Martina Zupan, dipl.ing. chem.

Hidrometeorološki zavod R Slovenije  
YU 61000 LUBLJANA, Vojskova 1a

## V s e b i n a

Uvod.....	9
Položaj in geografske značilnosti.....	10
Kraški izviri na zahodnem obrobju Bele krajine.....	11
Poskusno črpanje stalnih zalog Dobličice.....	25
Fizikalne in kemijske lastnosti izbranih izvirov in ponorov (Janja Kogovšek)....	31
Pregled dosedanjih sledenj.....	42
Kombinirani sledilni poskus l.1988 (Habič,Zupan).....	43
Sledenje v zaledju Dobličice l.1989 (Habič,Zupan).....	59
Geološko tektonska osnova kraškega zaledja Dobličice.....	70
Kraški relief v zaledju Dobličice med Krko in Kolpo.....	74
Ocena minimalne izdatnosti izvirov in velikost njihovega zaledja.....	86
Omejitev zaledja Dobličice in sosednjih izvirov.....	89
Varstvena območja in varovanje Dobličice.....	91
Sklep.....	91
Viri in literatura.....	95
Dobličica springs and their wider krast background (Summary).....	97

---

Poglavja, ki niso posebej označena je sestavil P. Habič



## UVOD

Potreba po raziskavi kraških izvirov za zahodnem obrobju Bele krajine se je pojavila, ko je bilo ugotovljeno nevarno onesnaženje Krupe s polikloriranimi bifenili (PCB). Za zajetje Krupe kot osrednjega najizdatnejšega vodnega vira v Beli krajini so bili izdelani že vsi načrti. Pred začetkom gradnje pa so kemijske analize pokazale, da voda ni primerna za pitje, ker vsebuje strupe, ki so jih iz obrata Iskre v Semiču nesmotrno odlagali po kraškem površju v okolici izvira (D.PLUT, 1988). Potrebno je bilo torej poiskati drug vodni vir za oskrbo naselij v Beli krajini. Kraški izvir pri Dobličah je bil že leta 1958 zajet za oskrbo Črnomlja. Po zatrjevanju upravitelja vodovoda pa jim je ob suši primanjkovalo vode. Pred leti smo pri izdelavi osnovne speleološke karte (P.HABIČ et al. 1977; 1980) delno spoznali kraški izvir in zaledje Dobličice, zato smo leta 1985 predlagali podrobnejšo preučitev tega izvira, ki bi vsaj po našem mnenju nekaj časa še lahko oskrboval celotno Belo krajino.

Raziskovanje Dobličice in njenega kraškega zaledja je nato potekalo v letih od 1986 do 1990 v okviru študije za idejno rešitev regionalne preskrbe Bele krajine z vodo do leta 2050, ki jo je vodil Vodnogospodarski inštitut v Ljubljani ob sodelovanju Geološkega zavoda in Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Sredstva za raziskave so prispevali Zveza vodnih skupnosti in Raziskovalna skupnost Slovenije, Območna vodna skupnost Dolenjske ter občinski komunalni skupnosti Črnomlja in Metlike.

V prvi fazi raziskav smo izvedli poskusno črpanje Dobličice. Ob nizki vodi oktobra 1986 smo ugotovili, da je možno delno izkoristiti tudi stalne zaloge Dobličice pri nižani gladini izvira pod prelivni rob. Leta 1987 smo pregledali hidrogeološke, geomorfološke in speleološke razmere v širšem zaledju Dobličice in se lotili priprav na kombinirani sledilni poskus, s katerim naj bi preverili morebitne zveze onesnaženih kočevskih ponikalnic z izvirom Dobličice. Leta 1988 smo izvedli prvi del sledilnega programa v zaledju Dobličice. Obarvane so bile štiri ponikalnice na Kočevskem: potok na Koprivniku, Rinža pri Livoldu ter Kačji in Željnski potok. Program za četrto fazo je bil zastavljen tako, da bi z obarvanjem treh ponikalnic v ožjem zaledju Dobličice natančneje opredelili varstveno območje vodnega zajetja v Dobličah. Sledili smo ponikalnico pri Vrčicah, Ponikve na Mirni gori in Zdenec pri Miklarjih.

Geološke osnove zaledja Dobličice na razvodju med Krko in Kolpo povzemamo po osnovni geološki karti. Listi Ribnica, Novo mesto, Črnomelj in Delnice so po vsebini nekoliko različni, zato smo na skici meje poenotili in poenostavili. Geomorfološke značilnosti so prikazane po obstoječih virih in na podlagi lastnih preučevanj kraškega površja. V razpravi so podani novi hidrološki podatki in rezultati fizikalno kemijskih analiz voda, ki smo jih opravili v okviru zastavljenega programa. Nismo pa jih primerjali s starejšimi podatki drugih raziskovalcev. Ker so raziskave še v teku, bodo obdelani v drugi razpravi.

Kombinirane sledilne poskuse, meritve in raziskave so izvajali sodelavci Inštituta za

raziskovanje krasa ZRC SAZU, Hidrometeorološkega zavoda Slovenije in Inštituta za biologijo Univerze v Ljubljani. Njihov prispevek je omenjen v ustreznih poglavjih. Na tem mestu se vsem ponovno zahvaljujemo za pomoč in sodelovanje. V razpravi so poleg rezultatov sledenj navedene še nekatere značilnosti krasa v zaledju Dobličice, ki jih je vredno upoštevati pri varovanju pitne vode. Hidrološke razmere na razvodju med Krko in Kolpo pa s tem še niso v celoti razjasnjene.

## POLOŽAJ IN GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI RAZISKOVANEGA OBMOČJA

V zahodnem obrobju nizke Bele krajine, dobrih 5 km jugozahodno od Črnomlja je v nizkem dobličko viniškem podolju ob vznožju Poljanske gore niz kraških izvirov Dobličice in Lahinje. To pomembno hidrografsko vozlišče Bele krajine je očitno povezano s hidrogeološkimi razmerami in geomorfološkim razvojem na obrobju tektonske cone, ob kateri je pogreznjena Bela krajina oziroma dvignjeno njeno zahodno kraško obrobje (Pril.1). Razpored izvirov in površinskih tokov v Beli krajini kaže, da se je njen osrednji del najbolj pogreznil, tako da je tudi Kolpa zavila proti severu. Razen Krupe pri Gradacu nima Lahinja, podobno kot Kolpa med Vinico in Metliko, nobenega površinskega dotoka. Manjši kraški izviri so razporejeni v ozkem kanjonu, ki pa niso bili predmet naših raziskav. Njihovo zaledje sega v naseljene predele nizke Bele krajine in je podobno ogroženo kot zaledje Krupe okrog Semiča.

Zaledje kraških izvirov zahodno od Črnomlja je v nasprotju z zaledjem izvirov ob Lahinji bolj hribovito, gozdnato in redko naseljeno. Gorati gozdni kras brez pomembnejših površinskih tokov se razteza proti zahodu tja čez Kočevski Rog in Malo goro do Kočevskega polja, na jugu ga prereže kanjonska dolina Kolpe pod Kostelom. Na severu ga omejujeta dolina Krke in nizka Suha krajina. Razen v izvire ob Kolpi in Krki se visoki kraški hribi med Kočevjem in Črnomljem podzemeljsko odcejaajo le še v Dobličico in sosednje najnižje ležeče izvire ob vznožju Poljanske gore ter Krupe.

Na zahodnem obrobju tektonsko zasnovane pliocenske, ali morda še starejše, kanižarske premogove kadunje so razvrščeni izviri Talačkega oziroma Pačkega potoka, Jelševniškega potoka, Obršca, Dobličice, Podturnščice, Obrščice, Nerajčice in Lahinje. Ta hidrografski vozeli so očitno nastali v tektonskem jarku ob vzhodnem obrobju Poljanske gore. V doblički kotlinici se podzemeljske vode prelivajo na površje nižje kot v dolini Kolpe celo med Adlešiči in Gribljami. Nižje od Dobličice je le izvir Krupe v osrednji Belokrajnski kotlini. V takšnih hidrografskih razmerah bi se lahko celo del površinske Kolpe od Starega trga navzdol prelivaval skozi zakraselo Poljansko goro proti Dobličam. Rezultati naših raziskav pa izključujejo to možnost.

O vzrokih za takšen razpored vode je razpravljal že I. GAMS (1961,211). Zavrača misel o tektonskem grezanju ob Lahinji, ker ta ne kaže znakov akumulacije. Pri različnem dviganju pa bi se po njegovem morale pokazati lokalne anomalije strmcov. Razpored in strmec tokov skuša razložiti z različno grobim plavjem. Kolpa prenaša razmeroma debel

prod, Lahinja pa le ilovico, zato naj bi bil njen strmec enkrat manjši od Kolpinega (Kolpa 0,65, Lahinja 0,34  $\frac{m}{km}$ ).

Za omejitve zaledja Dobličice in za opredelitev kraškega razvodja med Krko, Kolpo in Dobličico ni bilo na voljo zanesljivih podatkov. Starejši sledilni poskusi na Kočevskem niso bili zanesljivi. Kraškega zaledja ni bilo mogoče razmejiti niti po razpoložljivih geoloških podatkih, še manj po takratnem morfološkem ali speleološkem znanju. Skromni so bili tudi hidrološki in hidrokemijski podatki, na podlagi katerih bi lahko sklepali o podzemeljskih vodnih zvezah. Del tovrstnih podatkov smo nato zbrali ob pripravah na sledenje.

Za natančno določitev položaja in obsega zaledja izvirov je potrebnih več zaporednih in sistematično zastavljenih sledenj. Tovrstne raziskave trajajo precej časa, kar zahteva tudi precej sredstev. Smiselno je bilo preveriti le najbolj kritična mesta in zaledje omejiti s pomočjo drugih dognanj. Tak postopek smo izbrali tudi pri opredeljevanju zaledja Dobličice in sosednjih izvirov. Predno smo lahko zasnovali sledilne poskuse, smo preučili geološko zgradbo, dopolnili znanje o geomorfoloških in hidroloških ter fizikalno kemijskih razmerah v širšem zaledju Dobličice, v predelu med Krko in Kolpo.

## **KRAŠKI IZVIRI NA ZAHODNEM OBROBJU BELE KRAJINE**

### **Stobe in studenec pri Otovcu**

Ob cesti Semič - Črnomelj se ob visokih vodah na več mestih med Ručetno vasjo in Gorenjo Pako pojavijo izviri, ki zalijejo plitve vrtačaste globeli. Voda navidez odteka prečno na pački dol. Med Rožancem in Staro Lokvijo pa je v dnu suhe doline vhod v jamo Stovba ali Stobe, kjer se pride do podzemeljskega potočka. Nekdaj so tja domačini celo hodili po vodo. V lijakasto kotanjo še vodijo stopnice in po njih pridemo do dna okrog 8 m globokega kraškega okenca. Skozi ozek rov pol metra nad dnem se lahko splazimo v dvoranico z vodo, ki odteka v neprehoden rov (Sl.1). Okrog 300 m južneje od Stovbe se nahaja 70 m od ceste obzidan in že precej zasut studenec Cure, ki so ga včasih tudi zajemali. Ob visokih vodah se dvigne gladina kraške vode do površja in po pripovedovanju domačinov je nekdaž tekla tudi po površju dalje proti Otovcu. I. GAMS (1961) sklepa po imenih G. in D. Pake, da je voda površinsko tekla po pačkem dolu še v historični dobi.

Dalje po suhi dolini, ki se vije od Kota pri Semiču proti jugu, pridemo pod Usarjem tik pod železniškim mostom pri Otovcu do nekakšnega požiralnika ali udorne kotanje s 7m dolgo površinsko strugo stalnega potoka. Voda izvira na zahodni strani in ponika v pol metra visok in že po nekaj metrih do stropa zalit rov na vzhodni strani tega zanimivega kraškega okenca. Pretok ni bil stalno opazovan, zato tudi ni znano nihanje gladine ob različnih vodostajih. Po občasnih opazovanjih je mogoče sklepati, da se po nalivih hitro dvigne gladina za 4m in v reliefni kotanji nastane jezerce kalne vode, sicer se pretočki gibljejo med 2 in 50 l/s. Nekdaj so v tem studencu zajemali vodo in prali, kar danes počno le izjemoma.

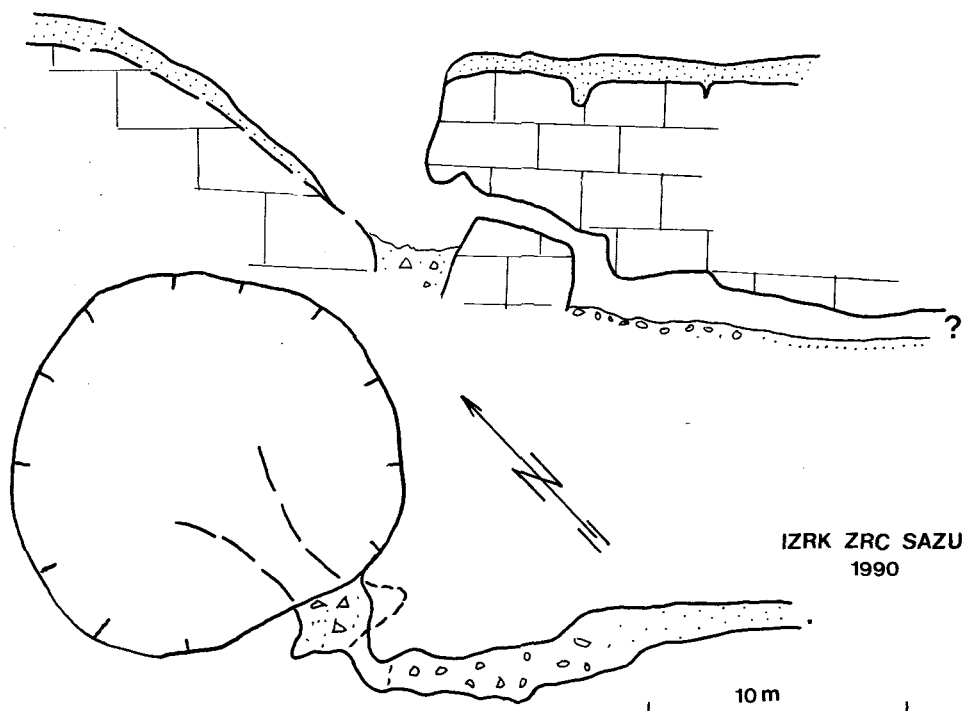


Opisani vodni pojavi dokazujejo, da se plitvo pod površjem paškega dola stalno pretaka kraška voda, ki napaja Pački potok in nekatere studence ob njem.

### Sihurna, občasni izvir Talaškega potoka

V dolini med Tuševim Dolom in Dolenjo Pako je več manjših izvirov, ki napajajo Talaški potok. Povirni del kraškega dola je suh in le ob najvišjih vodah sta tam aktivna dva bruhalnika. Prvi je v Delcih pod robom ob njivi, drugi pa Sihurna ali Suhorna ob zahodnem bregu do 100 m široke in 20 m globoke doline (Sl. 2). Njeno dno se na 2,5 km od izvira Sihurne do Dobličice pri Svibniku zniža za 30 m, od 165 do 135 m nadmorske višine.

### STOBE 1404



Sl. 1 Kraško okence Stobe pri Gorenji Paki (Pril.1, št.61)

Fig. 1 Karst window Stobe near Gorenja Paka (Annex 1, no.61)

Sihurna izvira pod 4 m visoko skalno steno v majhnem stranskem dolinskem zatrepu v jurskih apnencih. Že kmalu po dežju izvir presahne, vendar se voda stalno zadržuje v izvirni kotanji in njena gladina upade le za 2 m pod prelivni rob v višini 160 m, doslej

najnižja zabeležena gladina v izviru pa je bila na 156,6 m n.m.v. Nekdaj so domačini zajemali vodo v Sihurni in jo tudi prečrpavali v posušene vodnjake bližnjih vasi.



Sl. 2 Talački dol pod Rodinami s strugo Sihurne na levi

Fig. 2 Talački dol under Rodine with Sihurna riverbed on the left

### **Breg, stalni izvir Talačkega potoka**

Okrog 400 m jugovzhodno od Sihurne leži ob vznožju levega brega stalen kraški izvir Talačkega potoka, imenovan tudi Talački Breg. Iz dveh vzporednih razpok v položnih jurskih skladih priteka ob najnižjih vodah še okrog 2 l/s. Pretoka pri visokih vodah tu nismo mogli izmeriti, ker izvir zalijejo poplavne vode Talačkega potoka (Sl.3). Po legi in hidroloških značilnostih izvira sklepamo, da ima svoje ločeno zaledje v Talčjem Vrh in Tuševem Dolu. Ločeno pa je od zaledja Pačkega Brežička. Kemične in bakteriološke analize kažejo, da je voda onesnažena, saj se v Breg steka gnojnica iz bližnjih zaselkov.

### **Pački Brežiček, izvir Pačkega potoka**

Ob stiku talačkega in pačkega dola je ob vznožju nizkega pomola, v podornem zatrepu, dobrih 300 m južneje od Talačkega Brega stalni kraški izvir z minimalno izdatnostjo okrog 3 l/s. Ob visoki vodi pretok naraste prek 100 l/s. Visoke vode Talačkega potoka in Pačkega Brežička se razlijejo iz strug in poplavljaajo dno doline tja do Dobličice pri Svibniku (Sl.4).



Sl. 3 Stalni kraški izvir Talački Breg ob visoki vodi  
Fig. 3 Permanent karst spring Talački Breg at high water



Sl. 4 Pački Brežiček ob poplavi  
Fig. 4 Pački Brežiček during flood

Že po fizikalno kemijskih lastnostih vode in po legi izvira je mogoče sklepati, da dobiva Pački Brežiček vodo iz Otovškega zdenca. To zvezo smo preverili s sledenjem leta 1990. Barva se je iz Otovškega zdenca pojavila v Pačkem Brežičku po 120 urah ob razmeroma nizkem pretoku, okrog 5 l/s, kar pomeni, da je barva potovala na 1200 m dolgi poti s hitrostjo 10 m/h.

### **Poscane**

V stranskem zatrepu suhega dola pod Dolenjo Pako, okrog 100 m vzhodno od Brežička, je majhen stalni izvir, z izdatnostjo pod 0,1 l/s. Podobno kot drugi izviri ob Talačkem potoku je tudi ta onesnažen in vanj se očitno steka gnojnica iz Dolenje Pake.

### **Izvir v Okljuku**

Na levem bregu najožjega dela doline Dobličice med Dobličami in Črnomljem je majhen občasen kraški izvir, iz katerega se preliva voda v Dobličico po kratki strugi. Izdatnejši je takrat, ko je zalit požiralnik ob desnem bregu Talaškega potoka pod Zajčjim Vrhom.

### **Šprajcarjev zdenec pri Okljuku**

Jugozahodno od Svibnika je v Okljuku Dobličice stalen kraški izvir, ki ga napaja Talački potok. Barva se je v njem pojavila po 7 dneh in je tekla hitreje kot proti Planincu. Pački potok se namreč izgublja v strugi že nad mostom med Svibnikom in Zajčjim Vrhom. Dobrih 100 m pred mostom je ob potoku izrazit požiraknik, ki je povezan tudi z izvirom v Okljuku. Ob nižjih vodah preprečuje ponikanje nizek nasip, ki usmerja potok po strugi navzdol, vendar se ta še na več mestih izgublja v desnem skalnem bregu. Ob suši ponikne Pački potok že 1200 m pred izlivom v Dobličico.

### **Studenci pri Svibniku, Planincu in Strugarju**

Pred izlivom Paškega potoka v Dobličico je pri Svibniku majhen kraški izvir, ki ob nizki vodi presahne, ob visoki pa ga poplavi Talački potok. Na loki ob Dobličici pod Svibnikom je pri Planincu drug majhen kraški izvir, kjer se preliva v Dobličico voda iz nizkega zakraselega pomola na levem bregu Talaškega potoka. Barva iz Otovca se je v tem izviru pojavila po 9 dneh ali 216 urah in je torej tekla s hitrostjo 12 m/h. Na okljuku Dobličice, naprej od Planinca je pri Strugarju še en majhen izvir, ki ima podobne lastnosti kot oni pri Planincu.

### Izvir pri Jelševniku

Severovzhodno pod vasjo Jelševnik je v širokem dolinskem zatrepu nizke dobličke kadunje stalen kraški izvir Jelševniškega potoka, ki ga kratko imenujemo kar Jelševnik, imenujejo pa ga tudi Jezero. Ni povsem jasno, ali zaradi 10 m širokega izvirnega sifonskega jezerca, ali zaradi umetno zajezone vode nad nekdanjim mlinom, kjer sedaj nekdo obnavlja jez za ribogojnico (Sl.5). Izvir pri Jelševniku je po izdatnosti drugi največji izvir na zahodnem obrobju Bele krajine. Po meritvah in opazovanjih v zadnjih štirih letih daje ob nizkih vodah od 15 do 20 l/s. Po hidroloških značilnostih je podoben Dobličici, vendar doslej še nismo mogli dokazati njunega skupnega zaledja. Vse kaže, da se sem stekajo vode iz območja med Mirno in Debelo goro. Ob poskusnem črpanju Dobličice leta 1986 se v izviru pri Jelševniku gladina vode ni opazno znižala.



Sl. 5 Izvir pri Jelševniku

Fig. 5 Spring near Jelševnik

### Obršec

Okrog 500 m južno od izvira pri Jelševniku je občasni izvir Obršec, vendar se v njem voda stalno zadržuje, čeprav se ne preliva v strugo Jelševniškega potoka. Širok dolinski zatrep kaže, da je bil tukaj včasih pomemben izvir. Kraška voda, ki zastaja v plitvi podorni izvirni kotanji, je zajezena z naplavinami poplavne ravnice, ki sega od Dobličice ob Jelševniškem potoku navzgor. Po kemijskih lastnostih se voda Obršča neko-

liko razlikuje od Jelševnika, kar kaže na ločeno zaledje. Ni pa znano, kam odteka nizka voda iz njegovega zaledja, morda po zakraseli podlagi pod naplavljeno ravnico neposredno v strugo Dobličice.

Med poskusnim črpanjem Dobličice se je gladina vode v Obršču spreminjala neodvisno od one v 2 km oddaljeni Dobličici, pa tudi drugače kot v Jelševniku. To je najbrž možno le ob neposrednem podzemeljskem odtoku Obršca v strugo Dobličice. Izvirki so razporejeni ob levem bregu nasproti Blatnika. Ob črpanju Dobličice smo opazili, da se je kraška podtalnica tudi iz Dobličkega polja na več mestih vlivala v posušeno strugo. Pred mostom na cesti Blatnik - Dobliče je manjši izvir na desnem bregu Dobličice.

### **Dobličko jezero - izvir Dobličice**

Okrog 700 m jugovzhodno od Doblič je v komaj izraženem zatrepu ob strmem vznožju lep kraški obrh, izvirno jezerce, široko 40 m in globoko 11 m. Rdečkastorjava kraška ilovica pokriva živoskalno podlago okrog izvirne kotanje in nizko polico dobličkega polja, v katero je poglabljena zavita struga Dobličice. Ta je sprva usmerjena proti vzhodu, nato pa pod Jernejo vasjo zavije proti severu mimo Doblič in v loku okrog Blatnika obrne v ozek prehod med Kočevjem pri Črnomlju in Svibnikom. Dalje se v okljukih prebija iz dobličke kotline severno od Kanižariškega hrbta proti Črnomlju, kjer se vlija v Lahinjo. Ožina pri Blatniku in izraziti okljuki pred Črnomljem dokazujejo, da je Dobličica



Sl. 6 Doblička kotlina ob vznožju Poljanske gore  
Fig. 6 Dobliče valley at the foot of Poljanska gora



ujeta v hitreje se dvigajoči blok ob vzhodnem robu dobličke kotlinice. I. GAMS (1962) razlaga te meandre s položajem skladov. Ob visokih vodah Dobličica s pritoki med Dobličami, Blatnikom in Jelševnikom prestopi bregove in preplavlja ravnico ob strugi (Sl.6).

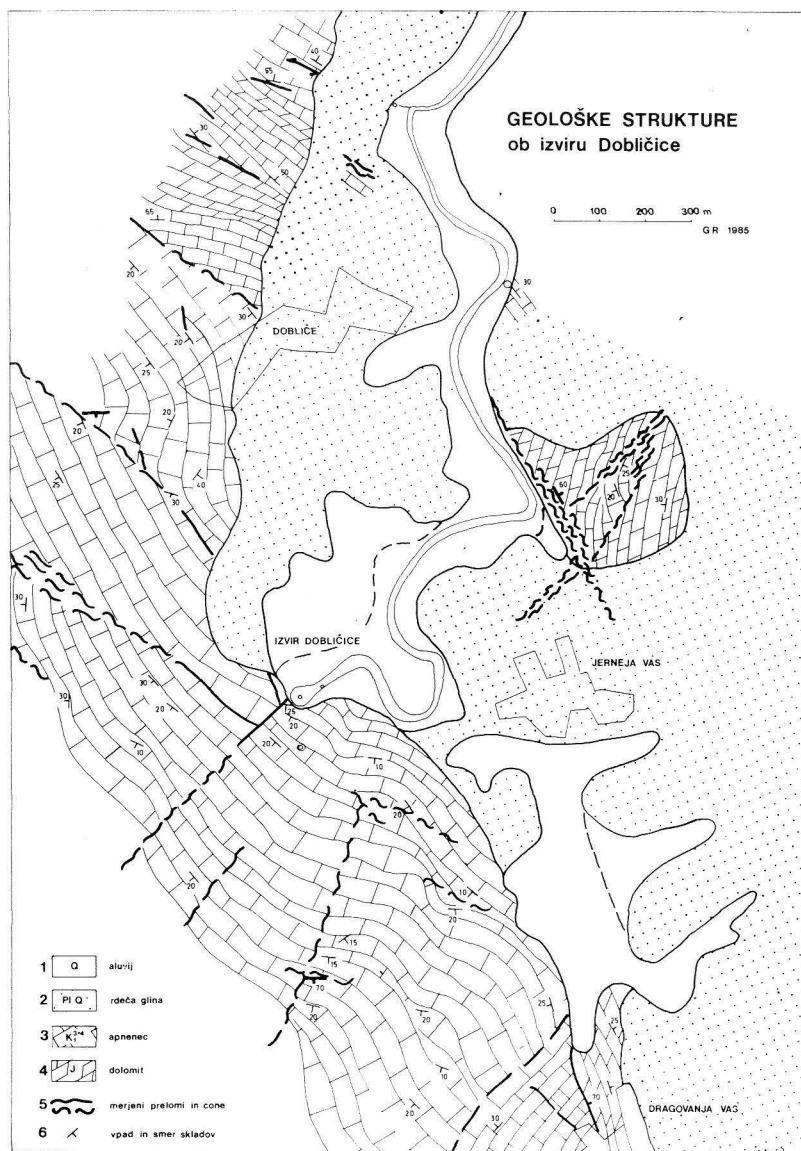
Izvirno Dobličko jezero ima lijakasto obliko z dvema izrazitejšima kotanjama. V zablatenem skalnatem dnu potapljači še niso našli poglobitnega pritočnega kanala. Ob črpanju pa se je pokazalo, da priteka voda tudi iz ožjega sifonskega brezna že v strugi tik ob izvirnem jezeru (Sl.7).

Dobrih 130 m južno od izvira je v skalnem bregu plitva vrtača. V njej so najprej poskusili zgraditi zajetje za črnomaljski vodovod. Med gradnjo črpalnega vodnjaka pa je v njem izgubilo življenje kar pet delavcev, ki so se po miniranju prehitro spustili vanj. Čeprav je bilo izkopano dno 4 m pod gladino izvira, iz vodnjaka niso dobili več kot 0,2 l/s tudi potem, ko so v dno zvrtali 34 m globoko vrtino in jo razstrelili z okrog 80kg razstreliva (F. JENKO, 1959,196). Kasneje so zgradili nov črpalni vodnjak le 15 m od izvira, toda tudi v ta vodnjak je pritekala omejena količina vode, kar se je poznalo v pomanjkljivi oskrbi Črnomlja v sušnih mesecih, čeprav se je iz izvira prelivalo še dovolj vode. Kasnejše raziskave so pokazale, da se izvirno jezero napaja skozi globok sifonski rov. Skalno obrobje, v katerem sta skopana oba vodnjaka, pa je manj prevotljeno. To je treba upoštevati tudi pri morebitnem novem zajemanju globljih zalog Dobličice (Sl.8).



Sl. 7 Izvir Dobličice

Fig. 7 Dobličica spring



Sl. 8 Geološki položaj Dobličice

1 - aluvij, 2 - rdeča glina, 3 - apnenec, 4 - dolomit 5 - merjeni prelomi in cone,  
6 - vpad in smer skladov

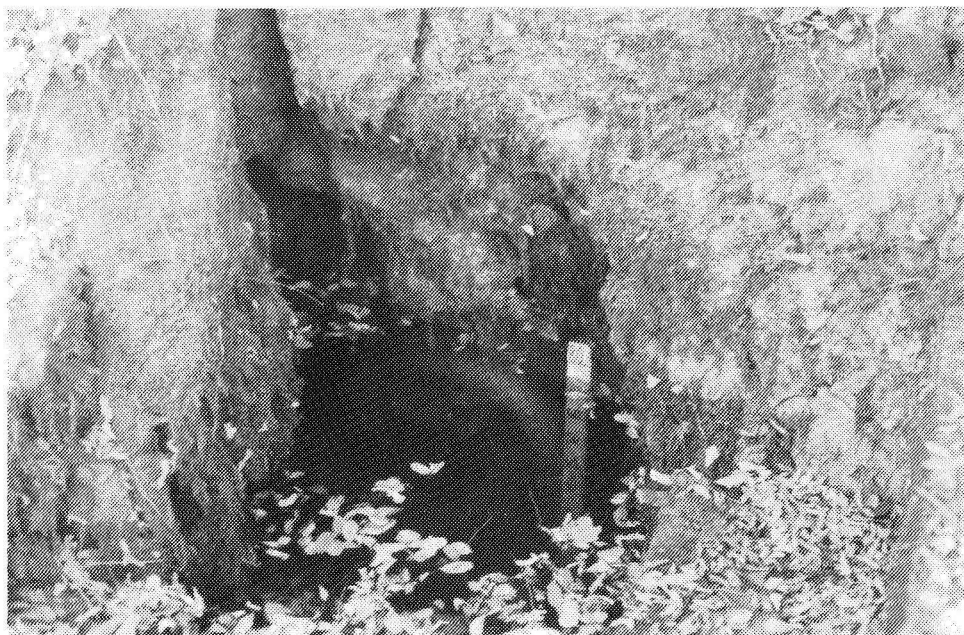
Fig. 8 Dobličica geological situation

1 - alluvium, 2 - red clay, 3 - limestone, 4 - dolomite, 5 - surveyed faults and zones,  
6 - strike and dip of beds



### Podturnščica

Nizek skalni hrbet med Kvasico in Tančo Goro loči dobličko kotlinico od Dragatuške, v kateri sta kraška izvira, Podturnščice in Obrščice. Izvir Podturnščice pri Brezniku leži 4 km južneje od izvira Dobličice. Ob vznožju strme rebri je kratek izvirni zatrep, zasut z gruščem in ilovico. Iz njega se preliva ob visoki vodi do 3 m<sup>3</sup>/s, ob nizkih vodah pa se izceja iz podzemlja skozi grušč komaj 2 l/s. Zajezena kraška voda je ob suši dosegljiva v odprtih špranjah ob skalnem robu zatrepa. Med poskusnim črpanjem Dobličice se gladina v izviru Podturnščice ni bistveno znižala (Sl.9) Tudi kemijske in temperaturne lastnosti kažejo, da ima Podturnščica svoje zaledje, ki je vsaj v izvirnem delu ločeno od Dobličice.



Sl. 9 Razpoka z vodo ob izviru Podturnščice

Fig. 9 Water-filled fissure at Podturnščica spring

### Obrščica

Drugi izvirni krak Podturnščice predstavlja komaj 500 m oddaljeni izvir Obrščice pri vasi Obrh. Tudi ta izvir daje ob suši komaj 3 l/s, ob visokih vodah pa nad 1000 l/s. Izvir hidrološko ni stalno opazovan, višino vode in pretoke merijo skupaj na Podturnščici pri mostu pred Dragatušem. Po velikosti zatrepa sodimo, da je izvir pri Obrhu povezan z izdatnejšo vodno žilo kot oni pri Podturnu. Voda priteka iz odprtega sifonskega rova, ki

strmo pada pod vznožje prepadne stene. Tudi tu so potrebne še potapljaške raziskave in poskusno črpanje, ki naj potrdi možnosti izkoriščanja stalnih vodnih zalog (Sl.10).



Sl. 10 Izvir Obrščice

Fig. 10 Obrščica spring

### **Okno pri Nerajcu**

Okno je stalen kraški izvir Nerajčice, ki podobno kot Podturnščica in Obrščica, odteka v Lahinjo. To je skrajni južni izvir ob vznožju Poljanske gore oziroma Cerknika (238m) pri Malem Nerajcu (Sl.11). Cernik je z nizkim dolom med Suhorjem in Obrhom ločen od višje Poljanske gore nad Zapudjem. V Okno se verjetno stekajo tudi kraške vode, ki se pokažejo v estavelah pri Suhorju, v Selšici ali Suhorskem Bregu ter v Gradnici in Ljubešnici za Cernikom. Nad Oknom je podorni zatrep, ki nakazuje star, podrt pritočni rov.



Sl. 11 Okno pri Nerajcu

Fig. 11 Window near Nerajc

### **Gradnica in Ljubešnica pri Suhorju**

V plitvi udornici ob robu zapudskega dola pri Suhorju niha gladina vode za okrog 5 m in se le v najvišjih vodostajih prelije po ravnici na Lokah zahodno od Cernika. Podobno nihanje vodne gladine lahko opazujemo tudi v Ljubešnici na severni strani Loke za Cernikom (Sl.12).

### **Suhorski Breg**

V vasi Gornji Suhor je več vodnjakov, ki segajo do kraške podtalnice. Izkoriščajo jo za oskrbo, čeprav je precej onesnažena. Suhorski Breg priteka ob visoki vodi iz manjše jame in se po kratki strugi preliva do požiralnikov pred Dolnjim Suhorjem. Tudi tam so vodnjaki skopani do kraške podtalnice. Nekdaj so bili opremljeni z ročnimi črpalkami, ki



Sl. 12 Izvir Dobličice, za 2 m znižana gladina ob črpalnem poskusu oktobra 1986. V izsušeni strugi je bila najdena črna človeška ribica (Aljančič, Mihevc, Habič, 1986).

Fig. 12 Dobličica spring, during pumping test in October 1986 the water table was lowered for 2m. In dried riverbed the black proteus anguinus was found (Aljančič, Mihevc, Habič, 1986).

pa so že zdavnaj dotrajale. Ob visokih vodah je kratka struga Selčice med Gornjim in Dolnjim Suhorjem zalita in poplavna voda se lahko površinsko prelije v Nerajčico. Nizke vode verjetno izvirajo v Stepanjcu, kamor odtekajo tudi vode iz 8 m globokega okenca Glušenke na polju med Nerajcem in Malo Lahinjo. V Stepanjec odtekajo najbrž tudi vode iz okenc pri Stari in Novi Lipi ter iz Ponika pri Djudu južno od Male Lahinje. Zveze, ki so jih nakazali črnomaljski jamarji, zlasti S. Klepec (Arhiv IZRK ZRC SAZU), z barvanjem še niso potrjene. Na postopno prestavljanje površinskih tokov v podzemlje opozarjajo tudi suhe doline med Lahinjo in Nerajcem (Sl.13).

### **Hidrogeološki položaj izvirov**

Kraški izviri na vzhodnem obrobju Poljanske gore so razporejeni na obrobju pliocenske kanižarske tektonske kadunje. Z glinami, kremenovim peskom in laporjem ter vmesnimi premogovnimi plastmi zapolnjena globel predstavlja nekakšen jez kraškim vodam. Posebno tiste iz višjega zahodnega, južnega in severnega obrobja kotline se prelivajo ob tem jezu na površje. Vode iz izvirov pri Podturnu, Obrhu, Nerajcu in Knežini kot Lahinja odtekajo ob južnem in vzhodnem obrobju kanižarske kadunje. Vode iz izvirov





Sl. 13 Črpanje Dobličice

Ob ustaljeni gladini je dajal izvir 180 l/s

Fig. 13 Dobličica pumping

During stabilized level the spring yielded 180 l/s

Dobličice, Obršca, Jelševnika in Sihurne ter Brežička pa ob njenem zahodnem in severnem obrobju. Poleg nepropustnih plasti v omenjeni kadunji predstavljajo delni jez tudi zdrobljene kamnine v prelomni coni, v katero je kanižarska kadunja tudi vložena. Zdrobljene kamnine so manj prepustne in silijo kraške vode iz višjega zaledja na površje. V njih samih pa je poseben vodni režim, kjer se del voda stalno zadržuje, del pa se podzemeljsko in površinsko pretaka. Stalne zaloge v zakraseli gmoti hranijo tudi vodne udore v Kanižarskem rudniku.

Površje na apnencih in dolomitih na južnem, zahodnem in severnem obrobju je nižje od površja v sipkih pliocenskih sedimentih pri Kanižarici. K tej inverznosti reliefa je nekaj lahko prispevala koncentracija voda. Toda ta je bila očitno pogojena s tektonskim zastajanjem blokov v dobličko kanižarski prelomni coni. V dragatuški in doblički globeli so se na apnencih in dolomitih ohranile debelejšje plasti rdečerrjave ilovice, ki daje tej pokrajini manj kraški videz. I. GAMS (1962) je mnenja, da je k oblikovanju Bele krajine pomembno prispevala pospešena korozija ob odstranjevanju neogena. To bi lahko bilo tudi odločilno za nastanek dragatuške in dobličke globeli. Pogrešamo pa enako globel na vzhodni strani ohranjenega neogena. Erozijsko tudi ni povsem razumljivo izogibanje tokov sipkim panonskim sedimentom.

Morfološke in hidrološke razmere so bolj verjetno posledica različne dinamike tektonskih blokov ob vznožju Poljanske gore. To dejstvo je pomembno za razumevanje hidroloških razmer v samem dnu kotlin pa tudi v širšem zaledju izvirov Dobličice in Lahinje. Dinarsko potekajoča narivna cona je na več mestih prekinjena s prečnimi mlajšimi prelomi, ob katerih so bloki premaknjeni proti jugozahodu ter različno dvignjeni ali spuščeni. Ob teh prelomih so predvsem razporejeni kraški izviri in s prelomi omejeni bloki sestavljajo ločeno zaledje posameznega izvira.

## **POSKUSNO ČRPANJE STALNIH ZALOG DOBLIČICE**

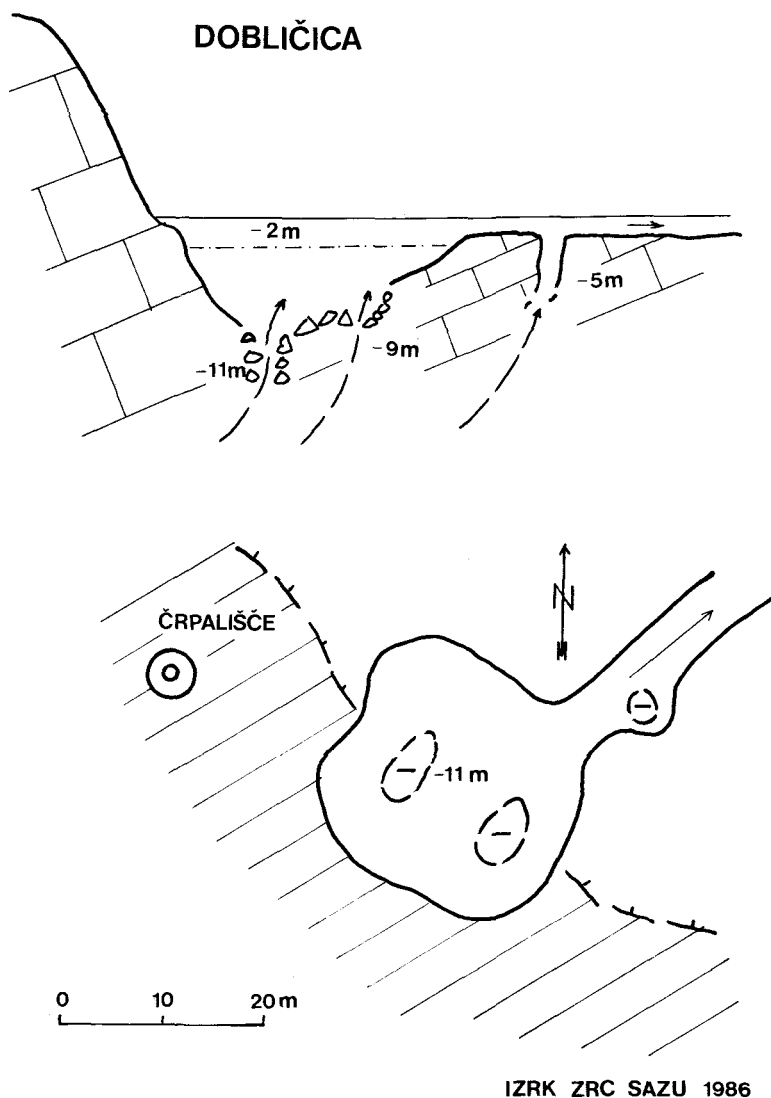
V okviru širše zastavljenih raziskav vodnih virov Bele krajine smo se leta 1986 najprej lotili priprav na izdatno črpanje vodnih zalog Dobličice. Ta izvir je že od leta 1958 zajet za oskrbo Črnomlja, njegova minimalna izdatnost ni bila natančno izmerjena. Zaradi tehničnih napak pri zajetju niso bile dovolj izkoriščene niti normalne nizke vode. Na splošno je prevladovalo mnenje, da ima Dobličica ob suši premalo vode, celo za kritje potreb Črnomlja, kaj šele celotne Bele krajine. Izvir ima razmeroma ugodno lego in redko naseljeno, gorato in z gozdom poraščeno zaledje, kar je pomembna prednost v primerjavi z drugimi vodnimi viri Bele krajine, ki so bolj ogroženi.

Globoko izvirno jezerce omogoča črpanje ob znižani gladini, pri roki pa je tudi energija ob vodnem zajetju. S poskusom smo hoteli ugotoviti, kakšne so možnosti za izkoriščanje zajezenih voda v zaledju izvira in kolikšne so njegove vodne zaloge. Poskus naj bi tudi nakazal obseg nadaljnjih raziskav za izkoriščanje in varovanje tega vodnega vira.

### **Priprava poskusnega črpanja**

Ob nizki vodi sredi poletja 1986 smo ob izviri med Otovcem in Nerajčico postavili merske late in organizirali opazovanje, da bi ugotovili morebitne spremembe gladin med črpanjem Dobličice. Piezometriških vrtin v zaledju zaradi pomanjkanja sredstev nismo izvrtali. Dva potapljača sta preiskala izvirno jezerce in ugotovila, da bi bilo možno znižati gladino v izviru skoraj za 10 m, če bi črpalke namestili v najglobljo kotanjo (Sl.14). Posebej smo morali poskrbeti za odvod načrpane vode, da se ne bi vračala po zakraseli podlagi nazaj v izvir.

Dež proti koncu poletja je nekoliko zmotil naše načrte, v suhi jeseni pa so se vode spet znižale. Nekaj težav smo imeli pri iskanju črpalke, ki bi zmogle potegniti iz izvira od 300 do 400 l/s. Imel jih je Geološki zavod v Ljubljani in z njihovimi sodelavci smo v kratkem času pripravili vse potrebno za črpanje. Dobrih 200 m od izvira je Gradbeno podjetje iz Črnomlja zgradilo jez v strugi Dobličice, ki naj bi preprečeval vračanje vode v izvir. Po našem naročilu so izkopali 200 m dolg jarek čez njive od izvira do struge pod



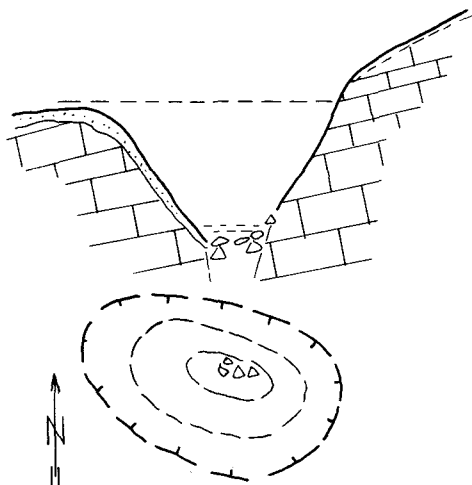
Sl. 14 Oblika kraškega izvira Dobličice

Fig. 14 The shape of Dobličica karst spring

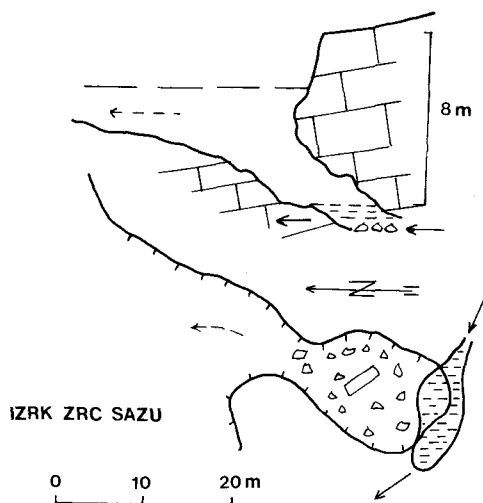
jezom (Sl.15). Po načrtu inž. B. Šetine z Vodnogospodarskega inštituta je bilo izdelano leseno korito za merjenje pretoka načrpane vode (Sl.13). Iz bližnjega transformatorja smo dobili potrebno energijo in dve električni potopni črpalki smo obesili na plavajoče kovinske sode. Gasilci in sodelavci Rudnika Kanižarica so nam priskočili na pomoč z

dodatnimi črpalkami za prečrpavanje vode v vodovodno zajetje, ko so tam črpalke zaradi znižane gladine ostale na suhem.

### LJUBEŠNICA 2097



### GRADNICA 2098



Sl. 15 Estaveli Ljubešnica in Gradnica v zaledju Nerajčice

Fig. 15 Estavellas Ljubešnica and Gradnica in Nerajčica background

### Poskusno črpanje

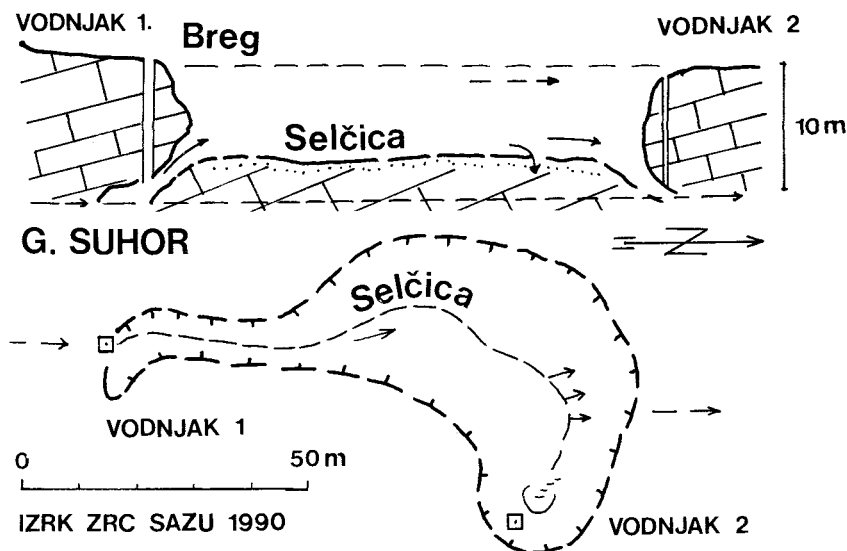
S črpanjem smo začeli 16. oktobra ob 8 uri in obe veliki črpalke sta dajali skupno 247 l/s. Ko se je v izviru znižala gladina za 12 cm, je upadla v vodovodnem zajetju že za 30 cm. Dodatno prečrpavanje iz izvira v zajetje ni bilo enostavno, ker se je del vode iz prepustnega umetnega vodnjaka vračal v izvir. Poleg tega pa smo imeli tudi težave z zrakom v tlačnem cevovodu, ki je zmanjševal dotok vode v vodohram. Težave v oskrbi Črnomlja so resno ogrozile naš poskus, po dogovoru s predstavniki občine pa smo vendarle nadaljevali s črpanjem. Ob tem smo spoznali pomanjkljivosti vodovodnega sistema, ki jih je upravljalec po končanem poskusu odpravil in tako zagotovil nemoteno oskrbo z vodo. To je bil tudi najvažnejši posredni rezultat naših prizadevanj.

Po 75 urah polnega črpanja s skupno količino 297 l/s se je gladina vode v izviru znižala za 2,13 m (Sl. 16). V celotnem črpalnem obdobju so zaradi okvar in prekinitev črpalke stale skupno 5 ur, posamezne prekinitve pa niso bistveno vplivale na spremembe gladine. Z zmanjšanjem črpanja na 180 l/s se je vodna gladina v izviru ustalila, kar je trajalo dobrih 5 ur. S tem smo dosegli pglavitni cilj poskusa. Nadaljnje zniževanje gladine pa v danih razmerah ni bilo več smiselno. Ko smo ustavili obe večji črpalke in dodajali



le 70 l/s vode v zajetje, se je gladina v izviru dvigala in po 100 urah dosegla prvotno prelivno višino.

## G. SUHOR



Sl. 16 Suhorski Breg in Selčica v zaledju Nerajčice

Fig. 16 Suhorski Breg and Selčica in Nerajčica background

V 70 urah črpanja z 247 l/s je bilo izčrpano v odtok  $62.244 \text{ m}^3$ , v petih urah črpanja z veliko črpalko s 110 l/s ob ustaljeni gladini pa je odteklo po strugi Dobličice še  $1.980 \text{ m}^3$ , skupno torej  $64.224 \text{ m}^3$ . V tem času je bilo iz vodovodnega zajetja načrpano za oskrbo  $13.200 \text{ m}^3$ , skupno je bilo torej iz izvira in njegovega kraškega zaledja izčrpano  $77.424 \text{ m}^3$  vode. Med polnjenjem je bilo v 100 urah načrpano iz izvira še  $22.224 \text{ m}^3$ . Skupno količino  $99.648 \text{ m}^3$  vode je v 100 urah po prenehanem zniževanju gladine nadomestil naravni dotok.

### Ocena izdatnosti izvira ob črpanju

Pred poskusom, ko so za oskrbo črpali okrog 70 l/s, se je v strugo Dobličice prelivalo še dobrih 20 l/s, skupna izdatnost izvira je bila tedaj nekaj nad 90 l/s. Ob ustaljeni gladini 2 m pod prelivom Dobličice smo črpali skupno 180 l/s. Iz tega sklepamo, da se vsaj v krajšem obdobju pri nižani gladini lahko črpa iz podzemlja še enkrat več vode, kot znaša najnižji naravni pretok. To potrjuje tudi krivulja praznjenja ob enakomernem črpanju. V prvih treh urah se je gladina zniževala za 1,33 mm/min, po 6 urah za 0,66 mm/min, po 60 urah črpanja pa samo še za 0,46 mm/min. Ti podatki kažejo, da se z znižanjem gladine v izviru poveča dotok iz zaledja, kar je ugodno za zajemanje stalnih zalog.

Kako daleč v zaledje se je znižala gladina, nismo mogli ugotoviti. V sosednjih izviri nismo zasledili sprememb v gladinah ob znižanju v izviru Dobljčice. Gladina v 2 km oddaljenem Obršcu je bolj upadla pred kot med poskusom. Gladina v tem izviru je po dežju ob koncu črpanja tudi hitreje narastla in ponovno upadla, ko se je gladina Dobljčice še dvigala. Očitno gre za ločeno zaledje obeh izvirov. Podobno neodvisno nihanje gladine smo zabeležili tudi pri Jelševniku. Navidezno se z zniževanjem gladine v Dobljčici med črpanjem še najbolj sklada znižanje gladine v Podturnščici. Toda tudi v tem, 3,8 km od Dobljčice oddaljenem izviru se je gladina enakomerno zniževala že pred črpanjem in enako tudi med umetnim znižanjem gladine v Dobljčici. Znižanje gladine se ni pokazalo niti v sosednjih vodnjakih s kraško podtalnico v Dobljčah, pri Jerneji vasi in Brezniku. Vse to kaže, da med razmeroma kratkotrajnim črpanjem zniževanje gladine kraške vode ni doseglo sosednjih izvirov. Lahko pa se spremembe pokažejo ob daljšem in izdatnejšem črpanju. Ker pa so tudi ob suši gladine v izviri različno visoko, je to malo verjetno.

Tabela 1: NIHANJE GLADINE V IZVIRIH MED ČRPANJEM DOBLJČICE  
m abs. v. - m. a. s. l.

Datum	Ura	Dobljčica	Obršec	Jelševnik	Podturnščica	Obrh	Nerajec
13.10.	13	138,56	142,07	142,41	146,74	146,86	146,87
15.10.	8	138,56	142,01	142,41	146,70	146,86	146,87
16.10.	11	138,41	141,97	142,41	146,66	"-	"-
17.10.	17	137,40	141,97	142,41	146,66	"-	"-
18.10.	11	136,86	141,95	142,41	146,64	"-	"-
19.10.	17	136,48	141,94	142,41	146,62	"-	"-
20.10.	14	137,00	142,11	142,46	146,61	"-	"-
21.10.	15	137,66	142,14	142,43	146,61	"-	"-
22.10.	15	138,05	142,06	142,42	146,62	146,86	146,87

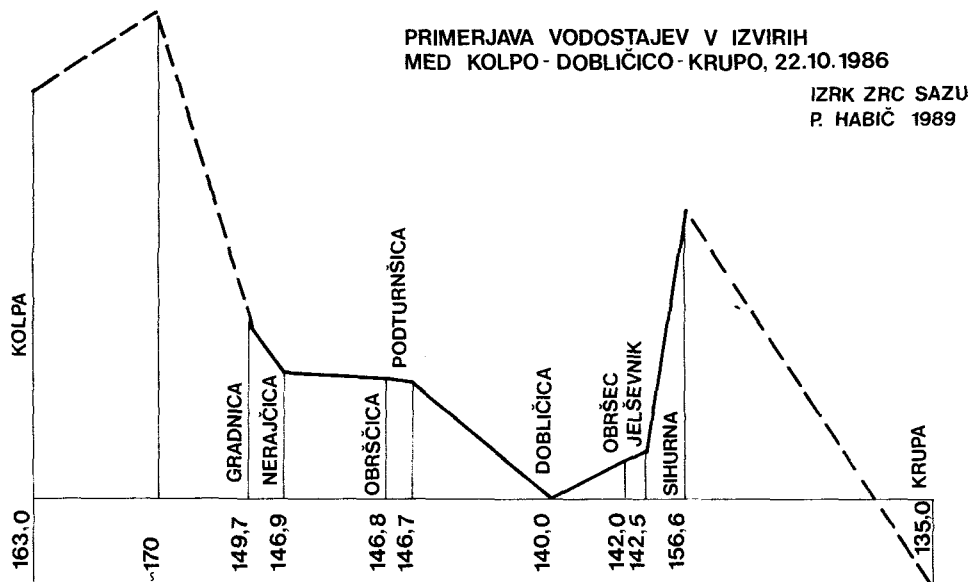
Črpalni poskus je pokazal, da so v zaledju Dobljčice precejšnje vodne zaloge. Pri znižanju za 2 m je bilo izčrpanih okrog 80.000 m<sup>3</sup>. Če bi enako znižali gladino za 4 m, bi v 150 urah iz kraškega podzemlja dobili domnevno okrog 160.000 m<sup>3</sup> vode. Ob primer- nih tehničnih rešitvah bi lahko znižali gladino v podzemlju vsaj za 8 m in tedaj bi mogli izkoristili verjetno okrog 300.000 m<sup>3</sup> vode. Ta količina bi zadoščala za oskrbo naselja z 10.000 prebivalci s porabo po 500 l na osebo na dan za 60 sušnih dni. Ne glede na dvome o pravilnosti te ocene o vodnih zalogah Dobljčice, preverili bi jih lahko le s ponovnim in daljšim črpanjem ob najnižjih vodostajih, pa podatki prvega poskusnega črpanja potrjuje- jo vrednost in pomen Dobljčice za oskrbo naselij v celotni Beli krajini. V njenem zaledju so izdatne zaloge, s katerimi je možno pokriti kritično porabo vode ob suši, sicer pa ima Dobljčica dovolj vode za sedanje pa tudi prihodnje potrebe.

### Višina vodne gladine v sosednjih izvirih

Najnižja gladina je v Dobličici, v izvirih južno in severno od tod pa so gladine tudi za dober meter višje. Črpalni poskus leta 1986 je pokazal, da umetno znižanje gladine v Dobličici za dva metra ni vplivalo na znižanje gladin v sosednjih izvirih. S tem pa še ni rečeno, da gladine globlje v zaledju niso medsebojno povezane, le izvorni rovi na obrobju posameznih blokov so ločeni. Vsekakor je pomemben najnižji preliv iz podzemlja pri Dobličici, k njemu se z obeh strani znižujejo gladine sosednjih izvirov (Sl.17).

Tabela 2: PRIMERJAVA GLADIN V IZVIRIH MED KOLPO IN KRUPO  
Dne 22. 10. 1986.

Kolpa pri Vinici (po TTN,Vrbovsko)	163,0 m
Razvodje med Kolpo in Lahinjo nad	170,0 m
Gradnica	149,7 m
Nerajčica	146,9 m
Obrščica	146,8 m
Podturnščica	146,7 m
Dobličica	140,0 m
Obršec	142,0 m
Jelševnik	142,5 m
Sihurna	156,6 m
Krupa	135,0 m



Sl. 17 Primerjava višine vodne gladine v izvirih med Kolpo, Dobličico in Krupo

Fig. 17 Comparison of water level altitude in the springs among Kolpa, Dobličica and Krupa

Iz priložene tabele in skice lahko razberemo, da obstaja med Kolpo in zaledjem pritokov Lahinje in Dobličice tako v južnih obronkih Poljanske gore kot v samem viniškem ravniku podzemeljsko razvodje. Znano je, da le del voda iz tega območja odteka neposredno v izvire ob Kolpi. K najnižjemu prelivu ob vznožju Poljanske gore so nagnjene gladine v izvirih na obeh straneh Dobličice, le izvir Krupe leži nižje, zato ima tudi več vode. Izvir Sihurna je blizu razvodja med Dobličico in Krupo. Ni pa izključeno, da se del voda iz skupnega zaledja razteka v oba izvira, kot je pokazalo barvanje Ponikev na Mirni gori.

### **FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI IZBRANIH PONOROV IN IZVIROV \***

V letih od 1986 do 1990 smo vzorčevali izvire, ki so navedeni v priloženem seznamu. Prva vzorčevanja in meritve v letu 1986 in delno 1987 smo izvedli v času od avgusta do decembra, kasnejša, leta 1987 do 1990, pa v pomladanskem obdobju od marca do junija.

Izvire v porečju Krke smo vzorčevali leta 1988, delno pa tudi 1987 in 1989, le Radešico tudi leta 1990. Izvire v porečju Lahinje smo vzorčevali od 1987 do 1990, izvire ob Kolpi pa smo zajeli v glavnem dvakrat (1987/1988), le Dolski potok in Bilpo še v letu 1989. Krupo smo zajemali od 1988 dalje.

Ob zajemu vzorcev smo določali temperaturo, specifično električno prevodnost (SEP) in pH vode z elektrometričnimi meritvami. V laboratoriju smo titrimetrično določevali karbonatno, kalcijevo in celokupno trdoto ter vsebnost kloridov, spektrofotometrično pa vsebnost o-fosfatov in nitratov, občasno smo določali tudi vsebnost sulfatov s turbidimetrično metodo ter količino raztopljenega kisika. Uporabljali smo standardne metode, kot so navedene v Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1975) in v Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung (1989).

Nekaj težav smo imeli pri terenskih meritvah temperature, npr. pri Dobličici, kjer so nihanja temperature verjetno v precejšnji meri posledica samih meritev izvirne vode z brega izvira, ne pa direktno sredi izvirnega toka.

---

\* Pripravila Janja Kogovšek

**Pregled opazovanih izvirov (glej pril.1)****Porečje Krke:**

- 1 Krka - Soteska
- 2 Crkavnik
- 3 Suhorščica
- 4 Obrh (Dolenjske Toplice)
- 5 Radešica
- 6 Izvir pri Kočevskih poljanah

**Porečje Lahinje:**

- 47 Zdenec pri Otovcu
- 9 Sihurna
- 10 Talački Breg
- 48 Pački Brežiček
- 11 Jezero pri Jelševniku
- 12 Obršec
- 13 Dobličica
- 14 Podturnščica
- 15 Obrščica
- 16 Ljubešnica
- 17 Gradnica
- 54 Suhorski Breg
- 19 Lahinja
- 41 Krupa

**Izviri ob Kolpi:**

- 23 Žlanik
- 26 Krivec
- 31 Poganec
- 33 Ušivec
- 36 Dolski potok
- 37 Šumetac
- 38 Bilpa
- 39 Kolpa
- 40 Kotnica

**Ponikalnice:**

- a Rinža
- b Kačji potok
- c Koprivnik
- d Željski potok
- e Ponikve na Mirni gori
- f Vrčice
- g Miklarjev zdenec
- h Topličica
- i Otovec
- j Rožnodolski potok
- k Bajer

**Rezultati meritev izvirnih voda**

Nekatere meritve in rezultate analiz opazovanih izvirov smo podali na sliki 18, iz katere so razvidna nihanja. Slika 19 pa podaja povprečne vrednosti. Za nekaj izvirov smo imeli le en vzorec, pri ostalih pa različno število, do 17 meritev.

**Izviri v porečju Krke: Crkavnik, Suhorščica, Obrh,  
Radešica in izvir pri Kočevskih Poljanah**

V izvirih niha temperatura vode z manjšimi odkloni okoli 9°C (maksimalna izmerjena je bila 9.7°C), celokupna trdota pa okoli 210 mgCaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>, večje razlike med izviri

pa nastopajo v razmerju Ca/Mg. Izvira Crkavnik in izvir pri Suhorju imata razmerje Ca/Mg okoli 10, Obrh in izvir pri Kočevskih Poljanah pa okoli 20 z znatnimi nihanji preko leta.

Radešico smo na izviru vzorčevali 8 krat. Njena temperatura je nihala med 9.1 in 9.7°C, razmerje Ca/Mg od 4.3 do 6.3, celokupna trdota pa okoli 225 mgCaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>. Nižje razmerje Ca/Mg v primerjavi z naštetimi izviri je posledica višje vsebnosti magnezija v Radešici. Majhna nihanja naštetih parametrov kažejo na ustaljen režim izvira, ki ga pogojuje njegovo zaledje.

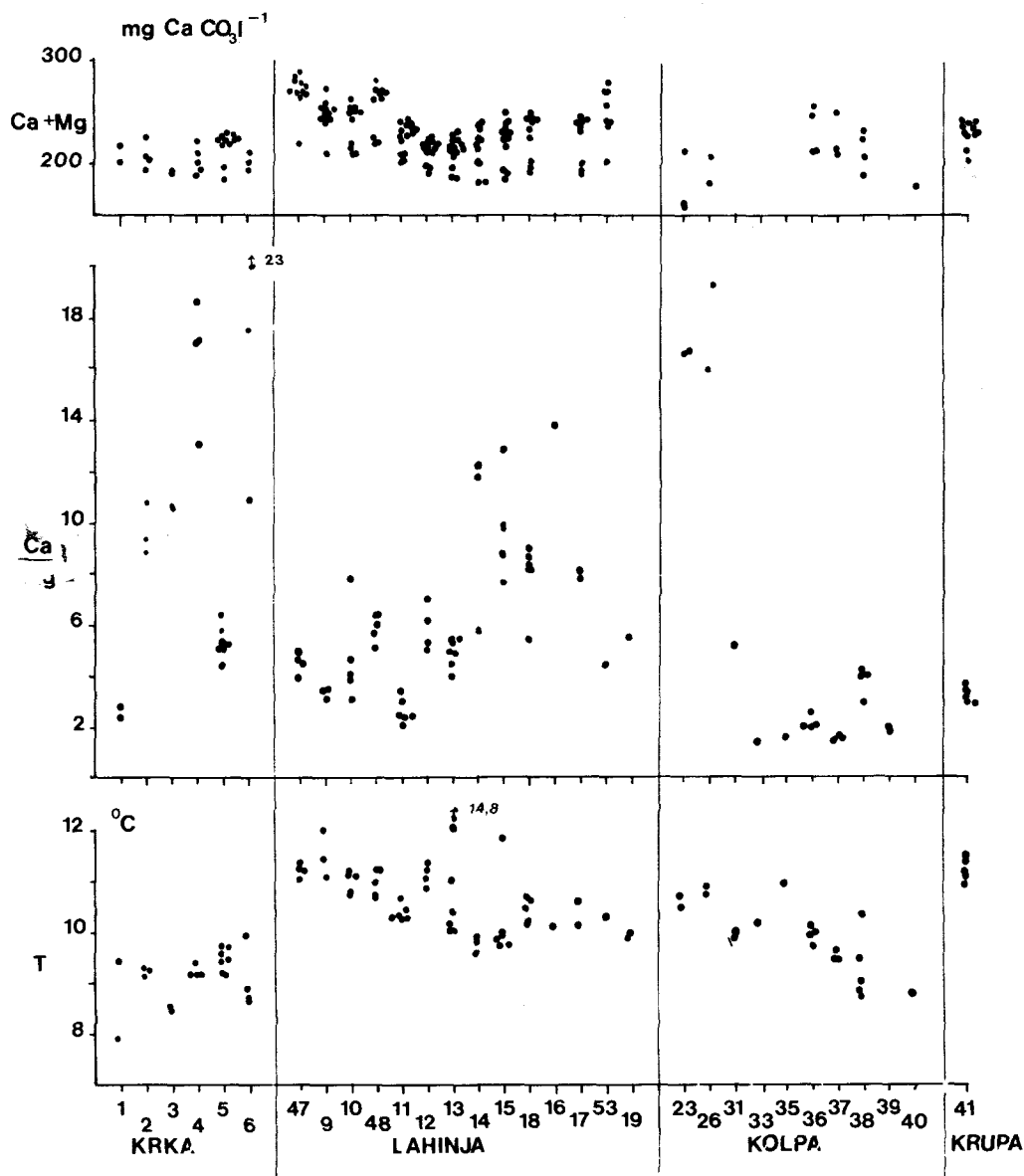
Ob višjih pomladanskih vodah smo izmerili povišano koncentracijo sulfatov v Crkavniku (34 mg l<sup>-1</sup>) in v Radešici (14 mg l<sup>-1</sup>), ob nižjem vodostaju pa le v Crkavniku. Izviri niso onesnaženi glede na kloride, nitrate, o-fosfatov, kar se odraža tudi v nizki SEP, z izjemo Radešice, ki vsebuje od 0.05 do 0.6 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> l<sup>-1</sup>. Iz tabele 3 so razvidni rezultati meritev in analiz vzorcev, ki smo jih zajeli 10.3.1988.

## **Porečje Lahinje**

### **Izviri: Sihurna, Talački Breg, Pački Brežiček in Zdenec pri Otovcu**

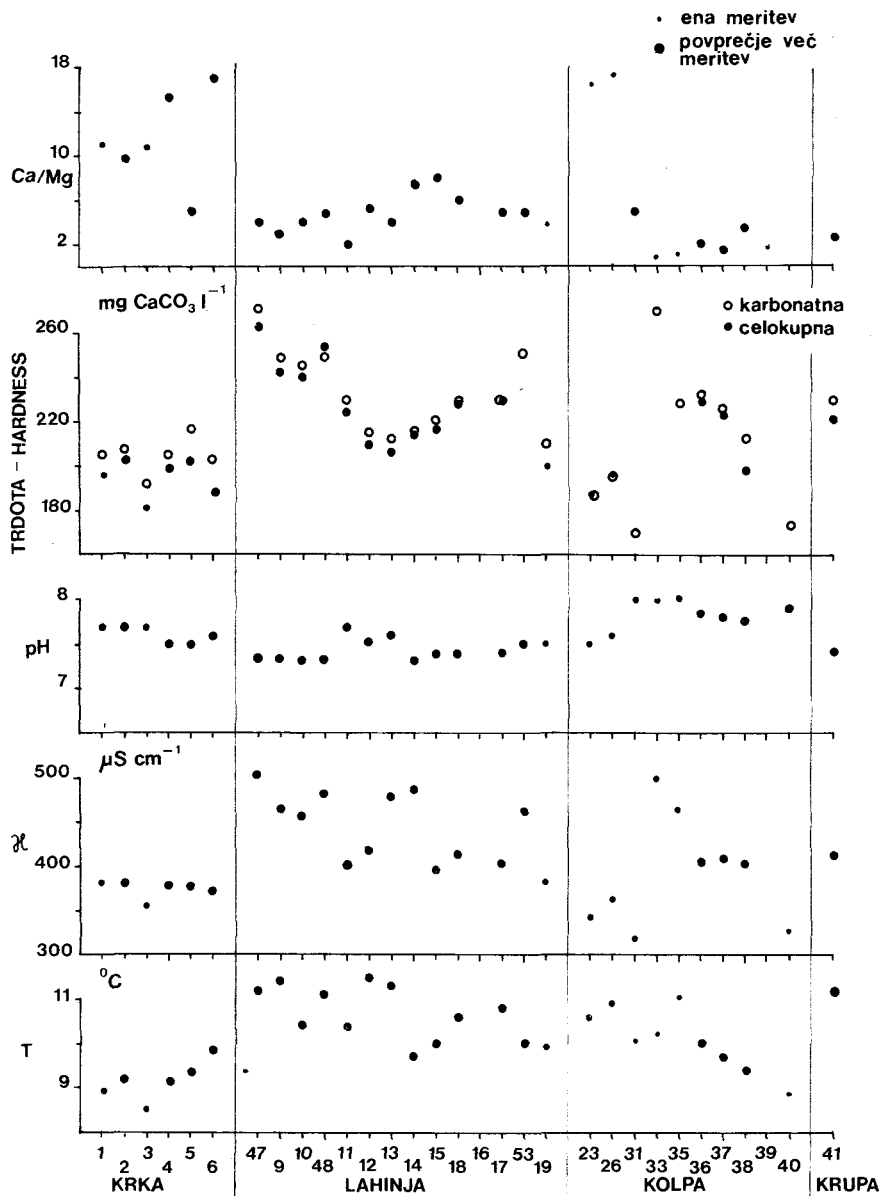
Ob vzorčevanju Sihurne se je voda vedno zadrževala v izvorni kotanji pod prelivnim robom, medtem ko je voda Talaškega Brega in Paškega Brežička iztekala in njuna temperatura je le malo nihala okoli 11°C. Odstopala je le temperatura Sihurne. Razmerje Ca/Mg je bilo pri Sihurni 3, pri Paškem Brežičku 6 in se je le malo spreminjalo; pri Talaškem Bregu pa smo izmerili vrednosti od 3 do 8. Celokupna trdota Sihurne in Talaškega Brega je nihala okoli 250 mgCaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>, Paškega Brežička pa okoli 270 mgCaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> z manjšimi odstopanji.

Zdenec pri Otovcu, ki že po nekaj metrih za izvirom ponika, ima dokaj stalno temperaturo (11.0-11.3 °C), razmerje Ca/Mg 3.9-4.8 in celokupno trdoto 275 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> in dokaj sovпада z značilnostmi zgoraj naštetih izvirov. Večja koncentracija nitratov, o-fosfatov in kloridov, ki nakazuje onesnaženje, je bila prisotna na vseh štirih zajemnih mestih. Najbolj je onesnažen Zdenec pri Otovcu. Vseboval je povprečno 5mg l<sup>-1</sup> kloridov, 0.25 mg l<sup>-1</sup> o-fosfatov in 7.3 mg l<sup>-1</sup> nitratov. Onesnažen je tudi bližnji izvir Planinc, dne 13. avgusta 1990 je vseboval 13 mg l<sup>-1</sup> kloridov, 0.16 mg l<sup>-1</sup> o-fosfatov, 18 mg l<sup>-1</sup> nitratov in 16 mg l<sup>-1</sup> sulfatov. Bližnja okolica izvirov je poseljena in človekova dejavnost v njihovem zaledju vpliva na slabšo kvaliteto izvirne vode.



Sl. 18 Celokupna trdota, Ca/Mg in temperatura izvirov v Beli krajini (številke izvirov po seznamu in pril. 1)

Fig. 18 Total hardness, Ca/Mg and springs temperature in Bela krajina (the numbers of springs according to list and Annex 1)



Sl. 19 Povprečne vrednosti temperature, specifične električne prevodnosti, pH, trdot ter Ca/Mg izvirov v Beli k rajini

Fig. 19 Average values of temperature, specific electric conductivity, pH, hardnesses and Ca/Mg of the springs in Bela krajina



Tabela 3

Porečje KRKE

Čas zajema: 10. 3. 1988

Mesto	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Ca+Mg	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Krka-Soteska	7.9	420	8.1	219	157	218	4	1.3	9.5	0.16
Crkavnik	9.2	382	7.7	196	184	205	2	0.4	3.4	0.01
Suhorščica	8.5	355	7.7	181	175	192	1	0.5	18.5	0.06
Obrh-D.Topl.	9.2	388	7.5	199	192	203	2	0.4	11.5	<0.01
Radešica	9.2	407	7.6	208	179	221	3	0.7	13.5	0.12
Koč. Poljane	8.7	370	7.5	195	186	203	1	1.2	10.5	0.09
Krupa(6.4.88)	10.9	382	7.9	201	159	205	2	4.4	3.0	0.04

1 temperatura v °C

2 SEP v  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 4 karbonatna trdota v  $\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ 5 kalcijeva trdota v  $\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ 6 celokupna trdota v  $\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ 7 kloridi v  $\text{mgCl}^{-1} \text{ l}^{-1}$ 8 nitrati v  $\text{mgNO}_3^{-1} \text{ l}^{-1}$ 9 sulfati v  $\text{mgSO}_4^{2-1} \text{ l}^{-1}$ 10 o-fosfati  $\text{mgPO}_4^{3-1} \text{ l}^{-1}$ 

Tabela 4

Porečje LAHINJE

Čas zajema: 20. 5. 1987

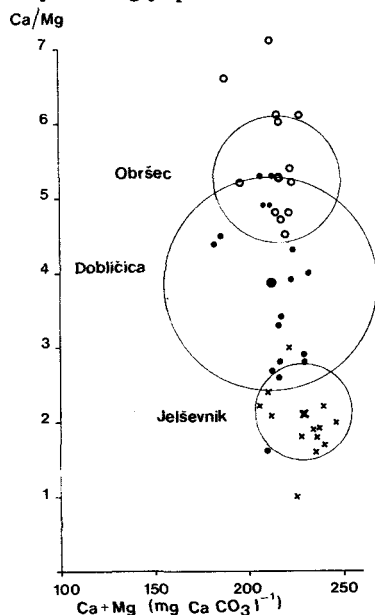
Mesto	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Ca+Mg	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Otovec	11.1	426	7.4	224	186	222	4	7.7	-	0.13
Sihurna	11.6	408	7.4	211	162	209	3	7.5	-	0.11
Tal. Breg	11.0	401	7.4	214	172	212	2	7.9	-	0.03
Pač. Brež.	11.0	429	7.3	227	182	226	3	16.2	-	0.19
Jelševnik	10.4	375	7.6	211	146	212	1	1.0	-	<0.01
Obršec	11.5	373	7.6	190	164	189	3	15.3	-	0.04
Dobličica	11.0	338	7.8	186	152	186	1	0.9	-	0.01
Podturnšč.	9.6	331	7.2	181	158	180	1	1.2	-	0.01
Obrščica	9.9	342	7.4	188	166	187	1	1.2	-	<0.01
Gradnica	10.8	362	7.6	200	170	201	2	6.0	-	<0.01
Nerajčica	10.5	359	7.4	198	174	198	1	3.0	-	0.03
Suh. Breg	10.3	369	7.6	200	172	200	1	4.4	-	<0.01

### Izviri Dobljčice, Obršca in Jezera pri Jelševniku

V letih 1986-90 smo Dobljčico vzorčevali 17-krat, Jelševnik 16-krat in Obršec 12-krat. Jesenske vode smo zajeli leta 1986 in 1987, spomladanske od 1987 do 1990. Med črpalnim poskusom smo prve tri izvire ter Otovec, Sihurno, Talački Breg in Pački Brežiček ter Podturnščico, Obrščico, Nerajčico, Gradnico, Suhorski Breg in Krupo zajeli 7-krat, najprej 21.8. in 3.10.1986, nato v sušnem vremenu pred črpalnim poskusom 13.10.1986, dne 17.10.1986 med črpanjem, ko je voda v izviru Dobljčice upadla približno za 1 m, in nato 22.10.1986 po končanem črpanju, ko se je gladina izvira dvigala. Kasneje smo vzorčevali po dežju 3.11.1986 in še 18.11. 1986. Iz tabele 4 so razvidni rezultati meritev in analiz zajete serije vzorcev navedenih izvirov 20.5.1987.

Temperatura Jelševnika ( $10.2 - 10.6^{\circ}\text{C}$ ) in Obršca ( $10.8 - 11.3^{\circ}\text{C}$ ) je dokaj stalna, medtem ko v Dobljčici niha med  $10.0$  in  $14.8^{\circ}\text{C}$ . To je v veliki meri posledica merjenja na robu izvirnega jezera, kjer je voda pod vlivom zunanje temperature.

Razmerje  $\text{Ca}/\text{Mg}$  Jelševnika je nihalo med  $1.6$  in  $3.5$  (povprečna vrednost  $2.1$ ), Dobljčice med  $2.7$  in  $5.5$  ob povprečni vrednosti  $3.9$  ter Obršca med  $4.5$  in  $7.2$  s povprečno vrednostjo  $5.3$ . Najmanjše je nihanje v Jelševniku, večje pa v Dobljčici in Obršču. Najnižje vrednosti smo zabeležili pri vseh treh izviri avgusta 1986, ko so bile med njimi tudi najmanjše razlike (Jelševnik  $1.0$ , Dobljčica  $1.6$  in Obršec  $2.2$ ). Izgleda, da je to značilno za nizke, počasi iztekajoče vode, ko v zaledju izvirov ni izdatnejših padavin. Razmerje  $\text{Ca}/\text{Mg}$  je prikazano na sliki 20.

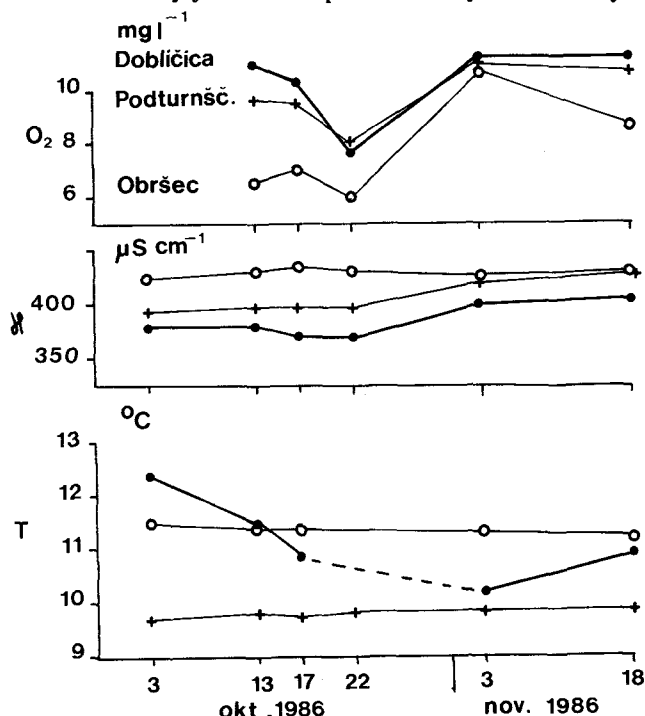


Sl. 20 Nihanje razmerja  $\text{Ca}/\text{Mg}$  v Dobljčici, Jelševniku in Obršču

Fig. 20 Oscillations of  $\text{Ca}/\text{Mg}$  rate in Dobljčica, Jelševnik and Obršec

Jelševnik vsebuje več magnezija kot Dobličica in tudi njegova celokupna trdota je nekoliko višja. Celokupna trdota Dobličice in Obršca le malo niha okoli vrednosti  $215 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Tudi karbonatna trdota obeh izvirov je praktično enaka. Le SEP Obršca je višja, kar pa je posledica višje vsebnosti kloridov in o-fosfatov. Stabilnost merjenih parametrov izvirov je značilno za zaledje, v katerem se močno izravnavajo padavinski vplivi.

Analizirani so bili tudi vzorci med črpalnim poskusom na Dobličici. Dne 13.10.1986 smo zajeli nizke vode pred pričetkom črpanja, 17.10. v času črpanja in 22.10. po koncu, ko se je vzpostavljalo začetno stanje. Temperatura Dobličice je 22.10. močno narasla, hkrati pa v Jelševniku za  $0.7^\circ\text{C}$ . Obenem smo zabeležili zmanjšanje vsebnosti raztopljenega kisika za  $2.6 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$ . Podoben upad kisika smo zabeležili le še v Jelševniku in v Podturnščici za  $1.5 \text{ mg l}^{-1}$  ter pri Obršču za  $1 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1}$ . Te rezultate podaja tudi slika 21. Iz tega bi lahko sklepali, da je črpanje povzročilo v Dobličici dotok nove vode z drugačnimi značilnostmi. Vzporedno nihanje vsebnosti raztopljenega kisika bližnjih izvirov pa morda le nakazujejo določeno povezanost njihovih zaledij.



Sl. 21 Temperature, specifična elekt. prevodnost in raztopljeni kisik v Dobličici, Obršču in Podturnščici ob poskusnem črpanju

Fig. 21 Temperature, specific electric conductivity and dissolved oxygen in Dobličica, Obršec and Podturnščica during test pumping

Dobličica je vsebovala največ do  $4 \text{ mg l}^{-1}$  kloridov, čeprav je povprečna vrednost

meritev  $2 \text{ mg l}^{-1}$ , do  $0.1 \text{ mg l}^{-1}$  o-fosfatov ob povprečni vrednosti  $0.03 \text{ mg l}^{-1}$  in do  $7 \text{ mg l}^{-1}$  nitratov, s povprečno vrednostjo le  $2.9 \text{ mg l}^{-1}$ . Podobne povprečne vrednosti kloridov, o-fosfatov in nitratov je imel tudi Jelševnik. Višje vrednosti naštetih parametrov se pojavljajo v jesenskem obdobju; po padavinah v začetku oktobra pa smo ugotovili njihov upad ob sočasnem porastu vsebnosti raztopljenega kisika, kar si razlagamo z dotokom nove vode.

Tudi podrobnejša analiza vzorca Dobličice konec oktobra 1986, ki jo je opravil Zavod za socialno medicino in higieno Novo mesto, je pokazala, da voda v kemičnem pogledu odgovarja pravilniku o higieni neoporečnosti vode, ki je namenjena za javno preskrbovanje prebivalstva kot voda za pitje ali za izdelavo živil, namenjenih za prodajo.

Obršec ima bolj onesnaženo vodo, saj povprečna vsebnost kloridov znaša  $5 \text{ mg l}^{-1}$ , povprečna vsebnost o-fosfatov  $0.17 \text{ mg l}^{-1}$  in povprečna vsebnost nitratov  $7 \text{ mg l}^{-1}$ . Preučiti je potrebno še izvor tega onesnaženja, saj sta izvira Dobličice in Jelševnika v neposredni bližini in morda izpostavljena skupnemu viru onesnaženja.

Bakteriološka preiskava naraslih izvirov od Otovca do Suhorskega Brega in Krupe je 3.11.1986 po možnem deževju pokazala v vseh primerih oporečno vodo s povečanim številom vseh živih bakterij, skupnih koliformnih bakterij in povečano vsebnostjo streptokokov fekalnega izvora. V nekaterih primerih so bile prisotne tudi koliformne bakterije fekalnega izvora. Najmanj je voda tedaj onesnažena Obrščica.

Dobličico smo zajeli za bakteriološko analizo trikrat. Najprej 19.10.1986 v času črpanja, ko je bila gladina Dobličice najnižja in nato 23.10.1986 po vrnitvi gladine do preliva. Izvida se ne razlikujeta. V obeh primerih surova kraška voda ni ustrezala higienskimi predpisom za pitno vodo, ker je vsebovala preveliko število klic in koliformnih klic ter tudi patogene in fekalne klice (*E.coli*, *Str.faecalis*). Dne 3.11.1986, ko je Dobličica po nočnem dežju narasla, ni vsebovala koliformnih bakterij fekalnega izvora, bili pa so prisotni streptokoki fekalnega izvora. Zaradi teh neugodnih bakterioloških lastnosti je potrebno kraške vode tudi drugod pred uporabo razkužiti.

### **Izviri Podturnščice, Obrščice in Nerajčice ter Suhorski Breg, Gradnica in Ljubčnica**

Vodi Podturnščice in Obrščice imata po merjenih parametrih sorodne lastnosti. Temperatura Podturnščice niha od  $9.5^{\circ}\text{C}$  do  $9.9^{\circ}\text{C}$ , Obrščice pa do  $10.1^{\circ}\text{C}$ . Povprečna karbonatna trdota je bila pri obeh izviri  $215 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  in je zelo podobno nihala. Povprečna celokupna trdota Podturnščice je bila enaka karbonatni, pri Obrščici  $221 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Temu so morda delno vzrok nekoliko višje vsebnosti o-fosfatov in nitratov. Obrščica je imela tudi nekoliko višjo SEP. Sorodno je tudi njuno povprečno razmerje  $\text{Ca/Mg}$  (7.5 oz. 8.1). Po SEP in trdotah se le malo razlikujeta od Dobličice, kar nakazuje podobnost njihovih zaledij.

Nerajčica ima višjo temperaturo, od  $10.2$  do  $10.9^{\circ}\text{C}$ , SEP, povprečna vrednost  $413 \mu\text{S cm}^{-1}$ , višjo karbonatno in celokupno trdoto. Povprečna vsebnost kloridov je  $3 \text{ mg l}^{-1}$ , o-fosfatov  $0.05 \text{ mg l}^{-1}$  in nitratov  $3.3 \text{ mg l}^{-1}$ , torej v območju koncentracij izvirov Podturnščice in Obrščice. Zelo sorodna je vodi Gradnice, nekoliko se razlikuje le v razmerju  $\text{Ca/Mg}$ .

Tudi Lahinja je podobna Gradnici in Nerajčici, ki smo jo vzorčevali le dvakrat. Podobno ugotavljamo za onesnažen Suhorski Breg, ki ima povišano SEP, ob nizkem vodostaju več kloridov (do  $15 \text{ mg l}^{-1}$ ), o-fosfatov (do  $0.5 \text{ mg l}^{-1}$ ) in nitratov (do  $7.2 \text{ mg l}^{-1}$ ) ter malo raztopljenega kisika (minimum je  $2.5 \text{ mg l}^{-1}$ , kar pomeni le 23% nasičenost). Izvor onesnaženja je v vasi, ki leži tik nad izvirom. Padavine pomenijo razredčitev onesnažene vode in povečanje raztopljenega kisika v njej.

### Krupa

Podrobnejše kemične raziskave Krupe so bile opravljene v okviru priprav na zajetje in po odkritju onesnaženosti s PCB (D. NOVAK, 1971, 1984, 1986 in 1989; D. PLUT, 1988). Naše raziskave so bile povezane s sledenjem voda v zaledju Dobličice. Tedaj je imela Krupa na izviru temperaturo od  $10.7$  do  $11.5^\circ\text{C}$  - povprečna  $11.1^\circ\text{C}$ , povprečna SEP je  $411 \mu\text{S cm}^{-1}$ , karbonatna trdota  $221 \text{ mg l}^{-1}$  in celokupna trdota  $229 \text{ mg l}^{-1}$ . Voda je vsebovala povprečno tudi  $2.8 \text{ mg l}^{-1}$  kloridov,  $0.09 \text{ mg l}^{-1}$  o-fosfatov in  $4.1 \text{ mg l}^{-1}$  nitratov. Najvišje vrednosti o-fosfatov in kloridov so bile ob jesenskih nizkih vodah.

### Izviri ob Kolpi

Od izvirov ob Kolpi smo vzorčevali izvir Kotnice(40) (D. NOVAK, 1969; 1971),

Tabela 5  
Ob Kolpi  
Čas zajema: 10.3.1988

Mesto	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Ca+Mg	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Žlanik	10.5	301	7.7	157	149	158	1	0.5	7.3	0.01
Krivec	10.8	347	7.8	182	174	183	1	-	10.0	0.02
Poganac	10.0	317	8.1	149	142	170	3	-	9.0	0.02
Ušivec	10.2	501	8.0	288	160	270	2	-	12.5	0.03
Dol.p.	9.8	390	8.0	209	143	212	1	0.8	9.2	0.05
Šumetac	9.6	382	7.9	207	128	209	2	0.5	8.0	0.03
Bilpa	8.9	415	7.9	199	164	207	6	1.9	15.7	0.31
Kolpa	6.3	288	8.7	151	101	155	2	1.5	6.9	0.05

1 temperatura v  $^\circ\text{C}$

2 SEP v  $\mu\text{S cm}^{-1}$

4 karbonatna trdota v  $\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$

5 kalcijeva trdota v  $\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$

6 celokupna trdota v  $\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$

7 kloridi v  $\text{mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$

8 nitriti v  $\text{mg NO}_2^{-} \text{ l}^{-1}$

9 sulfati v  $\text{mg SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$

9 o-fosfati  $\text{mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$

Bilpo (39), Šumetac (37), Dolski potok (36), Tropotec (30), Krivec (26) in Žlanik (23). Rezultate analiz izvirov, zajetih 10.3.1988, podaja tabela 5.

Glede na razmerje Ca/Mg bi te izvire lahko razdelili v dve skupini z bistveno različnim zaledjem. Žlanik in Krivec imata razmerje od 16 do 19, ostali izviri pa od 1.5 do 4.0. Šumetac ima le malenkost nižjo karbonatno in celokupno trdoto kot Dolski potok, vendar večjo vsebnost magnezija ob nižjem kalciju, kar da nižje razmerje Ca/Mg.

Bilpa ima za 20 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  nižjo celokupno trdoto in za 30 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  nižjo karbonatno trdoto, nižja vsebnost magnezija pogojuje višje razmerje Ca/Mg. Nekoliko povišani kloridi (do 6 mg  $\text{l}^{-1}$ ), o-fosfati (do 0.5 mg  $\text{l}^{-1}$ ) in nitrati (do 8.9 mg  $\text{l}^{-1}$ ), se odražajo tudi v razliki med celokupno in karbonatno trdoto in nakazujejo onesnaženje, ki ga pri drugih izviri ob Kolpi nismo zabeležili. Pri vseh izviri so jeseni in pozimi višje ter spomladi nižje celokupne in karbonatne trdote.

### Primerjava ponornih in izvirnih voda

V okviru priprav za sledilne poskuse smo analizirali tudi ponikalnice, v katere smo kasneje vlili sledila. V letih 1987 in 1988 smo zajemali vodo Željnskega potoka, Rinže, Kačjega potoka in ponikalnice na Koprivniku. Željnski potok in Rinža sta imela razmerje Ca/Mg od 5.2 do 8.6 s karbonatno trdoto do 224 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Celokupna trdota Rinže je bila nekoliko višja od karbonatne, Željnskega potoka pa tudi za 160 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  višja, kar je odraz visoke vsebnosti sulfatov v njegovi vodi. Obe vodi sta onesnaženi, kar se pri Rinži kaže predvsem v povišanih o-fosfatih, pri Željnskem potoku pa še v povišanih nitratih.

Potok v Koprivniku, še bolj pa Kačji potok vsebujeta malo karbonatov in imata vzporedno nizke celokupne trdote. To so predhodno nakazale tudi nizke vrednosti SEP. Njuno razmerje Ca/Mg je stalno (0.8 - 1.0), voda potoka v Koprivniku pa je tudi onesnažena.

Voda s tako nizkimi trdotami se pri podzemeljskem toku v krasu odvisno od kamnin bistveno spremeni in otežuje sklepanje o podzemeljski povezanosti. Sulfati, ki nastopajo v visoki koncentraciji le v Željnskem potoku, bi bili lahko naravno sledilo, če pri podzemeljskem toku ne bi prišlo do prevelikih razredčitev in njihovega izločanja. Povišane koncentracije sulfatov smo opazili ob višjem vodostaju v Crkavniku in izviru Radešice, ob nižjem vodostaju pa le v Crkavniku. To kaže na verjetnost odtekanja Željnskega potoka proti Crkavniku in Radešici, vendar pa je bilo opravljeno premalo meritev za bolj zanesljivo sklepanje.

Bilpa kaže znake onesnaženja. Ker ima svoje zaledje severno od Kolpe, ki je slabo poseljeno in tam ni večjih onesnaževalcev, sklepamo, da jo onesnažuje predvsem Rinža.

Miklarjev zdenec je imel maja 1989 razmerje Ca/Mg 4.6 in celokupno trdoto 179 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Nekoliko višje razmerje Ca/Mg in trdote smo zabeležili pri Dobličici in Obršču, vode Jelševnika pa so v tem znatno odstopale. Zato bi lahko sklepali na sorodnost vode Miklarjevega studenca ter Dobličice in Obršca.

Voda v Ponikvah je bolj trda predvsem zaradi večje vsebnosti magnezija in ima razmerje Ca/Mg okoli 1.4 ob celokupni trdoti  $240 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Od bližnjih izvirov ima nizko razmerje Ca/Mg Črmošnjica, ki se s ponorno vodo zelo dobro ujema tudi v SEP in trdotah. Vodi imata soroden izvor. Ker z barvanjem njuna zveza ni bila potrjena, imata najbrž enako dolomitno zaledje. Voda v Kočevskih Poljanah je bistveno drugačna. Ker je dokazana njuna zveza, se v podzemlju voda s Ponikev meša še z drugimi vodami.

Ponikalnico na Vrčicah smo zajeli le enkrat - maja 1989. Označuje jo razmerje Ca/Mg 1.05, kakršno ima tudi voda Črmošnjice, ki pa ima nekoliko nižje trdote. Ponorna voda z Vrčic in Ponikev odteka v Krupo, ki se po kemičnih lastnostih sicer nekoliko razlikuje. V izdatnejši Krupi se vpliv manjših dotokov zabriše in zato po kemični sestavi ni mogoče predvideti medsebojne povezanosti.

Ponikalnici v Rožnem dolu in pri Bajerju imata nizko razmerje Ca/Mg, okoli 1.0, in visoke trdote. Od analiziranih izvirov v okolici bi ju lahko morda vzporejali z izvirom pri Lakovnicah, ki ima razmerje 2 ob višjih trdotah. Sušica ima višje razmerje Ca/Mg (okoli 4) in nižje trdote, podobno kot tudi Krupa, le da so razlike manjše.

Otovec in bližnja Sihurna, Pački Brežiček in Talački Breg so si kemično zelo podobni. Z barvanjem pa je dokazana le zveza Otovca s Pačkim Brežičkom.

## PREGLED DOSEDANJIH SLEDENJ

Pregled doslej znanih podzemeljskih vodnih zvez na Dolenjskem je podal D. NOVAK (1987; 1970). Povzel je izsledke starejših sledenj, ki jih je za obdobje do leta 1945 kritično ocenil že A. ŠERKO (1946). Opozoril je tudi na potrebo po novih sledilnih poskusih, ki naj bi bili tako zastavljeni, da bi z njimi spoznali še druge značilnosti kraške hidrologije, ne le zveze med ponori in izviri. V zaledju Dobljčice in na razvodju med Krko in Kolpo v tistem času še ni bilo izvedeno nobeno sledenje.

Drugi prikaz sledenj ponikalnic v Sloveniji je objavil IGAMS (1965). V njem je zajel izsledke raziskav v obdobju od 1945 do 1965, ko so bili na Dolenjskem obarvani požiralniki Rakitnice (1955) in Rinže (1956). Rakitnica je potrebovala 170 ur za 20,2 km zračne razdalje do Tominčevega studenca ob Krki pri Podgozdu. Barvanje je bilo izvedeno sredi julija, ko še niso bile posebno nizke vode.

Rinža je bila obarvana prvič leta 1954 in nato ob koncu avgusta 1956 pri razmeroma nizkih vodah. V poročilu o tem barvanju (N.ČADEŽ, 1956) beremo, da so Rinžo barvali leta 1954, ko naj bi dokazali njeno zvezo z Dolskim potokom, Dobljčico, Radešico, Obrhom, Crkavnikom, Tominčevim studencem in Šico. Obarvani pa menda niso bili izviri Kotnice, Bilpe, Šumetca in Krupe. Iz poročila ne izvemo, kdo je to barvanje opravil. Rezultati pa so že takrat vzbujali dvome. Čadeževi se je zdelo zelo nenavadno, da bi se Rinža cepila kar v tri tako različne smeri in tudi prečkala vodni tok med Željnskimi jamami in Radešico. Barva naj bi se leta 1954 prvič pojavila šele po enem mesecu, zadnja sled barvila pa naj bi bila zabeležena še dva meseca kasneje. Po mnenju Čadeževe so

takšni rezultati posledica neizkušenosti pregledovalca vzorcev, ki ni razlikoval odtenkov barv uležane vode in Na-fluoresceina. Barva je bila namreč ugotovljena le v vzorcih, ki so bili pregledani šele po več mesecih, ne pa v onih, ki so bili sproti pregledani.

Zaradi teh nejasnosti se je Hidrometeorološki zavod v Ljubljani leta 1956 odločil za ponovno barvanje Rinže. Opazovali so jamo v Šahnu, Kesel v Kočevju, Kotnico, Bilpo, Šumetac, Dolski potok, Obrh pri Dragatušu, Dobličico, Jelševnik, Krupo, izvir pri Kočevskih Poljanah, Radešico, Obrh, Crkavnik, Tominčev studenec, Šico pri Dvoru in Studenec pod Stavčjo vasjo.

V ponore Rinže pri hišah št.4 in 5 v Kočevju so dne 30. junija 1956 ob 18 uri vlili 33 kg uranina (Vodomer pri Mahovniku  $H = 51$  cm). Bližnje izvire so opazovali že od 1.8.(?), večino drugih pa od 2.9.1956 dalje. Vzorce so zajemali 2 krat dnevno. Barva se je pojavila v Jami v Šahnu že 1. septembra ob 24 uri, do začetka oktobra pa je niso zasledili nikjer drugod. Prvo sled so ugotovili v Bilpi 13. oktobra, višek 30. oktobra, po 11. novembru pa je koncentracija naglo padla in nato je do konca opazovanja, 15. novembra 1956, enakomerno pojemala.

Razmeroma pozen pojav barve v Bilpi, šele po 43 dneh in pol, val pa je trajal le 33 dni, povezuje Čadeževa s sušnim obdobjem, nagel upad koncentracije sledila pa naj bi povzročile izdatne padavine. V poročilu ni nobene navedbe o načinu pregledovanja vzorcev iz drugih opazovanih izvirov, zato ni pojasnjeno morebitno raztekanje Rinže v več smeri.

Ker takratno optično ugotavljanje sledil v vzorcih ni bilo zanesljivo, zlasti ob velikih razredčenjih, smo se lotili ponovnega sledenja Rinže. Poleg podzemeljskih zvez Rinže z Bilpo pa smo želeli hkrati preveriti še zveze drugih ponikalnic na Kočevskem. D.NOVAK (1987) sicer omenja barvanje potoka pri Klinji vasi spomladi 1985, s katerim naj bi bila zanesljivo dokazana zveza s Tominčevim studencem in Radešico, nezanesljiv pa je po njegovem pojav sledila v Obrhu. Barvanje je bilo menda izvedeno ob visokih vodah, zato je razumljiv razmeroma hiter pretok proti Tominčevemu studencu, počasnejši pa proti Radešici.

Zveza Željskega potoka je bila le posredno dokazana s premogovimi drobci, ki so se iz odplak dnevnega kopa pri Kočevju pojavili v izviri Radešice (N. ČADEŽ, 1963). Drugi potoki na Kočevskem dotlej niso bili barvani, ali pa o sledenjih nimamo poročil. D. NOVAK (1984a) je dokazal zvezo Črmošnjice, ki izgublja vodo pod Občicami, z izvirom Radešice.

## KOMBINIRANI SLEDILNI POSKUS LETA 1988

Po razpoložljivem znanju o geološki zgradbi nismo mogli predvideti hidrogeološkega razvoja med ponikalnicami na Kočevskem in izviri v Beli krajini. Geomorfološke raziskave so ugotovile izdatno zakraselost celotnega površja in opozorile na tektonsko zasnovanost poglavitnih morfoloških značilnosti v zaledju Dobličice. Iz strukturnih potez v kraškem reliefu smo sicer sklepali na morebitno zaledje izvirov ob vznožju Poljanske



gore. Ker pa je bila že znana prečna podzemeljska zveza kočevskih ponikalnic pod Rogom z izviri ob Krki, nismo smeli prezreti tudi možnosti, da se del kočevskih voda preliva pod Poljansko goro v izvire na zahodnem obrobju nizke Bele krajine.

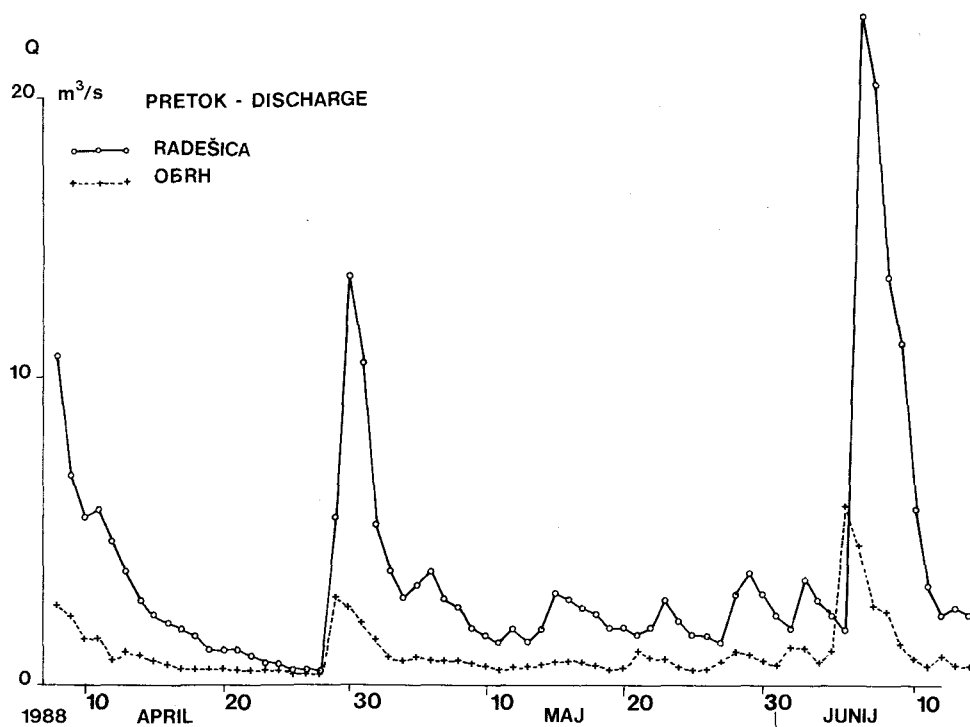
Kemične analize kraških izvirov ob Krki, Kolpi in Lahinji so sicer nakazovale precejšnjo sorodnost voda, vendar samo po njih ni bilo mogoče zanesljivo ugotoviti medsebojnih zvez med posameznimi ponori in izviri. Doslej raziskani speleološki objekti niso omogočili neposrednega dostopa do podzemeljskih voda v območju Poljanske gore in Kočevskega Roga. Večina jam je iz starejših obdobij korozijskega in erozijskega izvotljevanja tega krasa. Krajši odseki aktivnih ponornih jam na Kočevskem so značilni le za ožja ponorna območja in ne omogočajo jamarskih pogledov globlje v podzemlje.

Po kritični presoji vseh dosedanjih sledenj in predhodnih raziskav smo izbrali za prvi kombinirani sledilni poskus v širšem zaledju Dobličice štiri ponikalnice. Dobličici najbližja je ponikalnica na Koprivniku. Njen položaj se nam je zdel ključnega pomena za razmejitve zaledja s Kolpo. Drugo pomembno ponorno območje je na vzhodnem obrobju nepropustnih permskih in triasnih plasti med Mozljem in Knežjo Lipo. Tam smo izbrali Kačji potok kot najprimernejšo ponikalnico v predelu med Krko in Kolpo ter belokrajnskimi izviri. Tretja ponikalnica na Kočevskem, ki bi lahko odločilno ogrožala izkoriščanje Dobličice za oskrbo, je onesnažena Rinža. Po razpoložljivih podatkih ni bilo mogoče zanesljivo izključiti morebitnega odtoka njenih voda proti Beli krajini. S četrto ponikalnico v širšem zaledju Dobličice smo želeli preveriti vpliv onesnaženega Željskega potoka iz vzhodnega obrobja Kočevskega polja na pripadajoče izvire. S sočasnim sledenjem na vseh štirih mestih naj bi spoznali poleg zvez tudi nekatere hidrološke značilnosti nedostopnega kraškega podzemlja. Zaporedno sledenje ob različnih vremenskih razmerah namreč ne nudi dovolj primerljivih podatkov.

Pred sledenjem smo nekaj časa spremljali vodne razmere izbranih ponikalnic, ki razen Rinže nimajo merskih postaj. Po naročilu je Hidrometeorološki zavod opravil hidrometrične meritve pretokov ob začetku in koncu sledenja. Vodostaje v izbranih izviri so spremljali sodelavci Vodnogospodarskega inštituta, ki so opravili tudi nekaj meritev pretokov in sestavili pretočne krivulje ( Poročilo VGI za leto 1988 ).

Za začetek sledilnega poskusa smo izbrali upadajoče spomladanske vode, ko so bili pretoki ponikalnic še primerni za normalen odtok sledil v podzemlje. Iz priloženega hidrograma je razvidno (Sl.22), da so po dežju v začetku aprila, ko smo izvedli barvanje, vode enakomerno upadale, nato pa je dež ob koncu aprila znatno povečal pretoke. V maju so pretoki sprva upadali in nato nihali v skladu s suhimi in deževnimi obdobji do konca opazovanja. V splošnem cenimo, da so bile vodne razmere med sledenjem ugodne, zato so tudi izsledki v tem pogledu značilni.

Med 9. aprilom in 18. junijem 1988 smo organizirali zajemanje vzorcev vode dvakrat dnevno v naslednjih izviri: Krka pri Soteski (1 - številke v Pril.1), Crkavnik (2), Obrh (4), Radešica (5), Kočevske Poljane (6), od 26. aprila dalje smo dodatno zajemali tudi Tominčev studenec (42). Na zahodnem obrobju Bele krajine smo zajemali vzorce v Jelševniku (11), Dobličici (13), Podturnščici (14), Obrščici (15) in Nerajčici (18). Ob Kolpi



Sl. 22 Hidrogram Radešice in Obrha od aprila do junija 1988

Fig. 22 Radešica and Obrh hydrogram from April until June 1988

smo vzorčevali izvire: Tropotec pri Spodnjih Radencih (31), Dolski potok (36), Šumetac (37), Bilpo (38) in Kotnico (40). Za vsak primer smo vzorčevali tudi Krupo (41), ki je sicer odmaknjena od ožjega zaledja Kočevskega Roga in Poljanske gore. Vzorčevanje je bilo na vseh mestih skrbno, redno in zanesljivo in vsem opazovalcem se za njihov trud še posebej zahvaljujemo. Vsak teden smo obšli vse izvire ter vzorce prepeljali v analizo na Hidrometeorološki zavod in Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani. Analize vzorcev na fluorescenčna barvila je opravila inž. Martina Zupan po ustaljeni metodi s fluorescenčnim spektrofotometrom Perkin Elmer 204. Sledenje s fagi in analize bakteriofagov v vzorcih pa je opravil mag. M. Bricelj. Skupno je bilo zajetih dvakrat po 1388 vzorcev, na fluorescenčna sledila je bilo analiziranih 610, na bakteriofage pa 602.

### Sledenje ponikalnice na Koprivniku

Koprivnik je kraška uvala v rajhenavskem podolju med Kočevsko Malo goro in Rogom. V dnu globeli je več požiralnih rup in vanje odtekajo po plitvih strugah visoke vode iz strmega vzhodnega dolomitnega brega nad vasjo Koprivnik (Sl.23).

Za sledenje smo izbrali skrajni južni požiralnik. Potoček je v začetku aprila ponikal že v prvi, delno s smetmi zapolnjeni rupi. V njenem obodu smo skupali plitev, okrog 50 m dolg jarek, da je voda dosegla zadnji večji požiralnik. Potok z okrog 10 l/s je v njej 8. aprila 1988 nemoteno ponikal. Ob 12 uri smo (A. MIHEVC, M. KAVČIČ in P. HABIČ) vanj vlili 21 kg raztopljenega rodamina. Ker se je nekaj barve zadržalo še v ilovnati požiralni rupi, smo s traktorsko cisterno pripeljali iz bližnje farme še 10 m<sup>3</sup> vode in tako v poldrugi uri sprali sledilo v podzemlje (Sl.24).

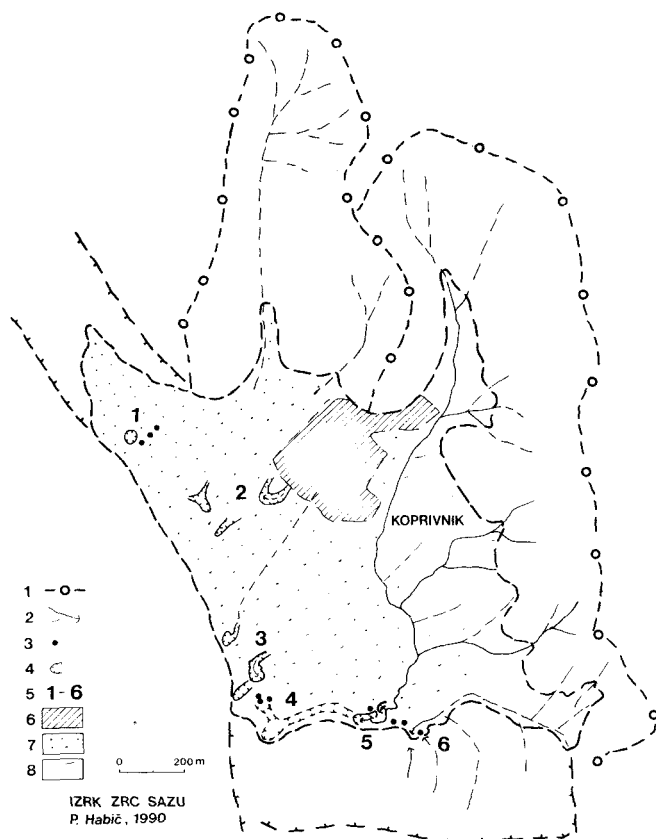


Sl. 23 Ponikalnica na Koprivniku z zanimivim naravnim oknom pred požiralnikom

Fig. 23 Sinking flow on Koprivnik with interesting natural window before the swallow-hole

Prvo obvestilo o vidno obarvani vodi je prišlo iz Dolskega potoka. Rodamin se je pojavil v njem 19. aprila ob 7.30 s koncentracijo 0.02 mg/m<sup>3</sup>. Za 10.8 km zračne razdalje od Koprivnika do Dolskega potoka je potrebovala obarvana voda 258 ur. Prvi vrh barvnega vala je bil zabeležen 21. aprila ob 19.30, s koncentracijo 3,2 mg/m<sup>3</sup>, drugi pa 23. aprila ob 7.30 s koncentracijo 3,6 mg/m<sup>3</sup>. Naslednje dni je koncentracija upadala, le 28. aprila je začasno narasla. Ko so 30. aprila vode močno narasle, rodamina ni bilo

več zaslediti. Ob ponovnem upadanju voda pa se je med 7. in 17. majem barva še petkrat pojavila (Sl.25), nato pa je v vzrocih do 17.junija, ko smo nehali vzorčevati, ni bilo več.



Sl. 24 Hidrografska skica Koprivnika

1 - orografsko zaledje potokov na dolomitu, 2 - ponikalnica, 3 - manjši požiralniki, 4 - večje požiralne rupe, 5 - skupine požiralnikov, obarvan je bil požiralnik št. 5, 6 - naselje, 7 - ilovnato gruščnata naplavina v dnu uvale, 8 - vršaj ob vznožju strmih bregov

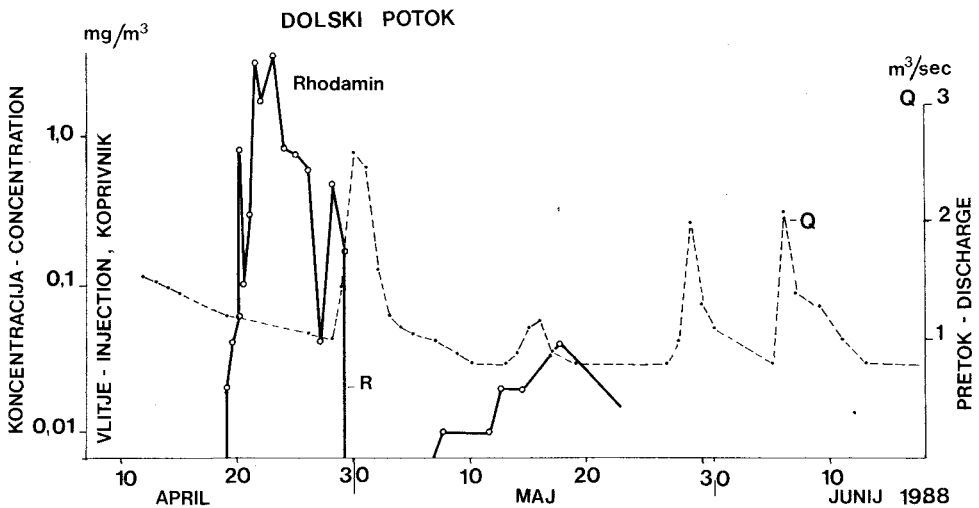
Fig. 24 Koprivnik hydrographic sketch

1 - orographic background of brooks from dolomite, 2 - sinking stream, 3 - smaller swallow holes, 4 - bigger swallets, 5 - group of swallow holes, no. 5 was dyed, 6 - settlement, 7 - loam rubble sediment on the bottom of ouvala, 8 - fan at the foot of steep hills

Navidezna hitrost vode s Koprivnika do Dolskega potoka znaša ob prvem pojavu sledila 1,16 cm/s, do vrha barvnega vala pa 0,94 cm/s. Če primerjamo krivuljo koncentracije sledila v Dolskem potoku s krivuljo pretoka, se pokaže, da je rodamin dosegel izvir še

pred naraslim vodnim valom, ki je sledil dežju po 28.aprilu in dosegel vrh 1.maja. Koncentracija sledila se je po vrhu vodnega vala sprva le nekoliko znižala, nato pa je hitro upadla pod mejo določljivosti.

Hidrološko je pomembno nekajdnevno vmesno znižanje koncentracije že takoj ob začetku barvnega vala in nato dva dni po vrhu vodnega vala. To znižanje gre morda na račun nekega vmesnega podzemeljskega pritoka. Z njim bi lahko pojasnili tudi vmesno razredčenje sledila med prvim izrazitejšim in drugim nižjim barvnim valom. Sekundarni barvni val bi lahko bil tudi posledica izpiranja sledila iz okolice požiralnika ob naraslih vodah po dežju 28.aprila. Po barvanju ob nizkih vodah se namreč zaradi upadanja pretoka in absorbcije nekaj sledila zadrži v požiralniških visečih kotanjah, od koder ga lahko odplavijo šele narasle vode. Hitrost potovanja drugega vala je namreč precej podobna prvemu.



Sl. 25 Krivulja koncentracije rodamina in pretoki Dolskega potoka po barvanju na Koprivniku od aprila do junija 1988

Fig. 25 The curve of Rhodamine concentrations and Dolski potok discharge after dyeing on Koprivnik from April until June 1988

Rodamina iz Koprivnika nismo zasledili v nobenem drugem opazovanem izviru. Po približni pretočni krivulji smo izračunali, da je v Dolski potok oteklo le okrog 30% vlitega sledila. Glede na nizko ocenjene pretoke ob višku vodnega vala, ko dejanske vrednosti niso bile merjene, lahko cenimo, da se je vrnilo vsaj 50% rodamina. Na podlagi prikazanih rezultatov in znanja o hidrogeoloških razmerah sklepamo, da se celotno podolje Koprivnika, Nemške Loke in Poljanske doline podzemeljsko odteka v Dolski potok. Sosednji izvir Tropotec pri Radencih vzhodno od Dolskega potoka in Šumetac na zahodni strani pa morata imeti lastno zaledje, v katerem se vode ločeno pretakajo. Sklenjen barvni val v Dolskem potoku nakazuje tudi razvito vodno žilo iz Koprivnika proti Kolpi (Sl.26).



Sl. 26 Dolski potok v dolini Kolpe pod Starim trgom

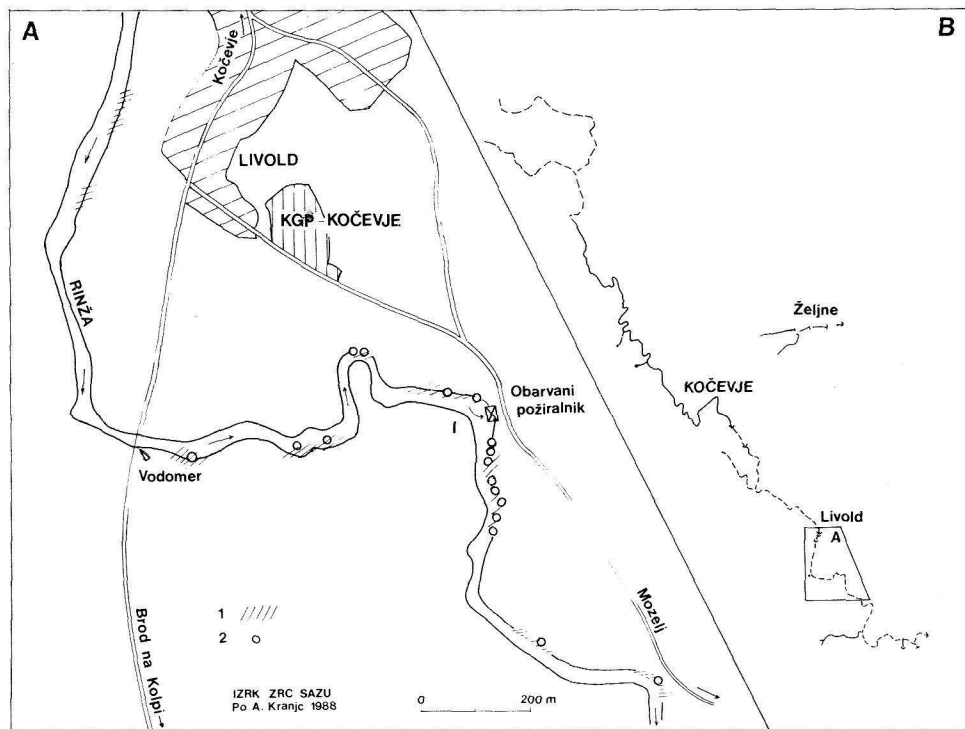
Fig. 26 Dolski potok in Kolpa valley under Stari trg

### **Sledenje Rinže**

Ponikalnica Rinža izgublja vodo v številnih požiralnikih med Kočevjem, Livoldom in Mozljem. Požiralnike in ponorne rupe v strugi Rinže je podrobno kartiral A.KRANJC (1972;1987) in zabeležil 23 požiralnih mest. Nekatera požirajo le visoko vodo, druga pa leže nizko v strugi in so stalno delno ali v celoti zalita. Ob visokih vodah se tok Rinže podaljša tja proti Mozlju, ob nizkih pa vsa voda izgine že v Kočevju (Sl.27).

Ob sledenju dne 12.aprila 1988 je Rinža tekla do obzidanega in z železno mrežo prekritega požiralnika 600m južno od Livolda ob cesti proti Mozlju. Ob 12.30 uri so M. KRANJC, J.KOGOVŠEK in L. DRAME vlili vanj 25 kg raztopljenega uranina, ko je pretok Rinže po vodomernu pri mostu čez Rinžo pod Livoldom pri  $H=117$  znašal  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . V obarvani požiralnik je teklo le še  $30 \text{ l/s}$ .

Prva sled uranina se je pojavila v  $11,5 \text{ km}$  oddaljenem izviru Bilpe ob Kolpi 29.aprila 1988 ob 7.30, to je po 4o3 urah (Sl.28). Navidezna hitrost  $0.79 \text{ cm/s}$  je za dobro tretjino manjša kot pri sicer precej manjšem potoku s Koprivnika. Koncentracija je od prvega vzorca z  $0,006 \text{ mg/m}^3$  enakomerno naraščala in dosegla višek 1. maja ob 19 uri z  $14 \text{ mg/m}^3$ . Vrh barvnega vala se je raztegnil na več dni in koncentracija sledila je počasi padala do 7.maja, nato pa se je med 9.in 11. majem znova nekoliko povečala. Po drugem višku se je zelena barva v Bilpi vse bolj redčila do 7. junija, ko je po novem dežju padla



Sl. 27 Ponori Rinže, A - ponori pri Livoldu, I - obarvani požiralnik, B - celotni tok Rinže  
 Fig. 27 Rinža ponors, A - ponors near Livold, I - dyed swallow holes, B - entire Rinža flow

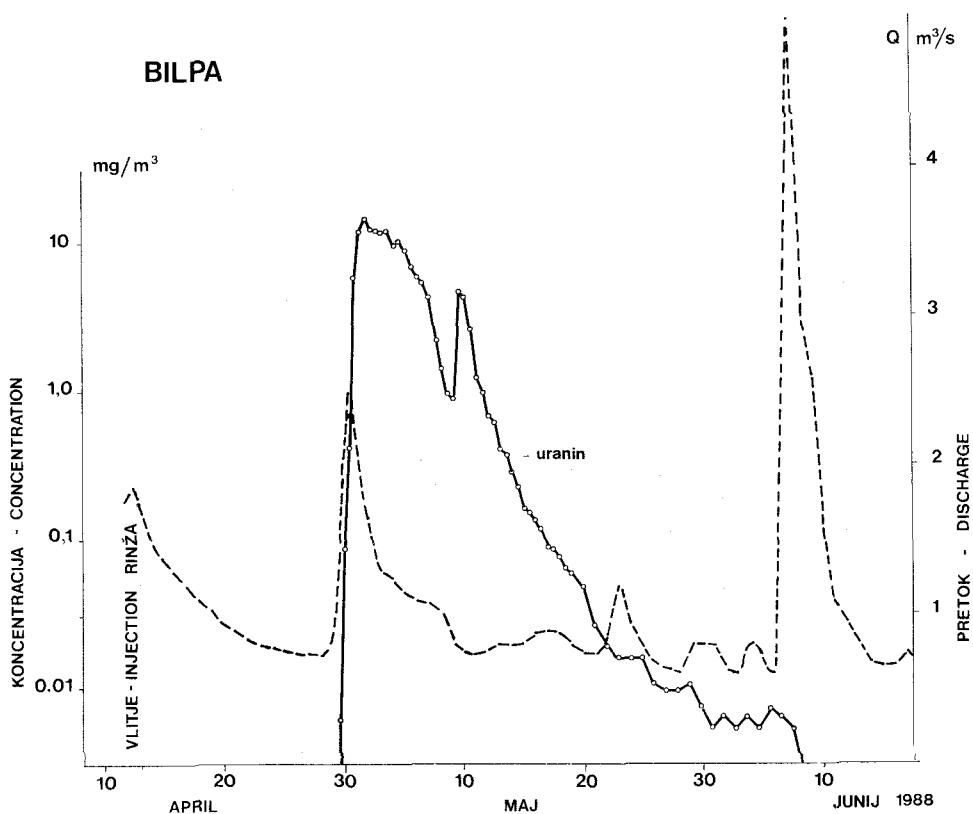
pod mejo določljivosti. Kaže, da je nov vodni val temeljito počistil podzemlje, saj v naslednjih desetih dneh ni bilo več sledi uranina (Sl.29).

Dež ob koncu aprila je vsekakor pospešil podzemeljsko pretakanje obarvane Rinže in prispeval k oblikovanju sklenjenega barvnega vala. Drugi barvni vrh okrog 10.maja si razlagamo podobno kot pri Koprivniku z ojačanim spiranjem sledila iz ponornega območja. Tudi Rinža je namreč po vlitju uranina skrajševala svoj površinski tok in ponikala v požiralnikih tik ob Livoldu in pod Kočevjem. Po izdatnejšem dežju v juniju pa se je njen površinski tok spet podaljšal celo prek obarvanega požiralnika.

### Sledenje Kačjega potoka\*

Med Mozljem in Knežjo Lipo je sredi kraške planote do 100 m višji pas fluvialnega reliefa, s katerega odteka voda v 28 ločenih ponikalnic na severni in južni strani nizkega, 6 km dolgega hrbta z imenom Šibje (Staudach). Hrbet je zgrajen iz nepropustnih per-

\*Sledenje s fagi je izvedel mag.Mihael Bricelj



Sl. 28 Krivulja koncentracije uranina in pretoki Bilpe po barvanju Rinže od aprila do junija 1988  
Fig. 28 The curve of Uranine concentrations and Bilpa discharges after Rinža dyeing from April until June 1988

mijskih klastitov, glinovcev s peščenjaki in dolomiti. Po predhodnih preučitvah (F. ŠUŠTERŠIČ, 1987) naj bi te kamnine predstavljale hidrogeološko zaporo in usmerjale odtekanje proti Krki na eni ter proti Kolpi na drugi strani. Kot najprimernejšo ponikalnico smo izbrali največji potok, ki ponika južno od vasi Kačji Potok, nekako na sredi med Koprivnikom in Željnam. Dolina Kačjega potoka je dolga dober kilometer, celotno porečje pa meri okrog 60 ha. Zaključni je z izrazito plitvo slepo dolino ob stiku nepropustnih peščenjakov s triasnim dolomitom. Proti severozahodu se nad požiralnikom nadaljuje uravnano vrtačasto površje v apnencih, ki so ga oblikovale površinske vode v starejših fazah razvoja. Na dnu slepe doline je naplavljen peščena ilovica in v njej je več požiranih rup. Ob visokih vodah se slepa dolina napolni z vodo, ki pa se normalno ne preliva čez rob, čeprav lahko po zakrselem površju sledimo podaljšani strugi potoka (Sl.30).

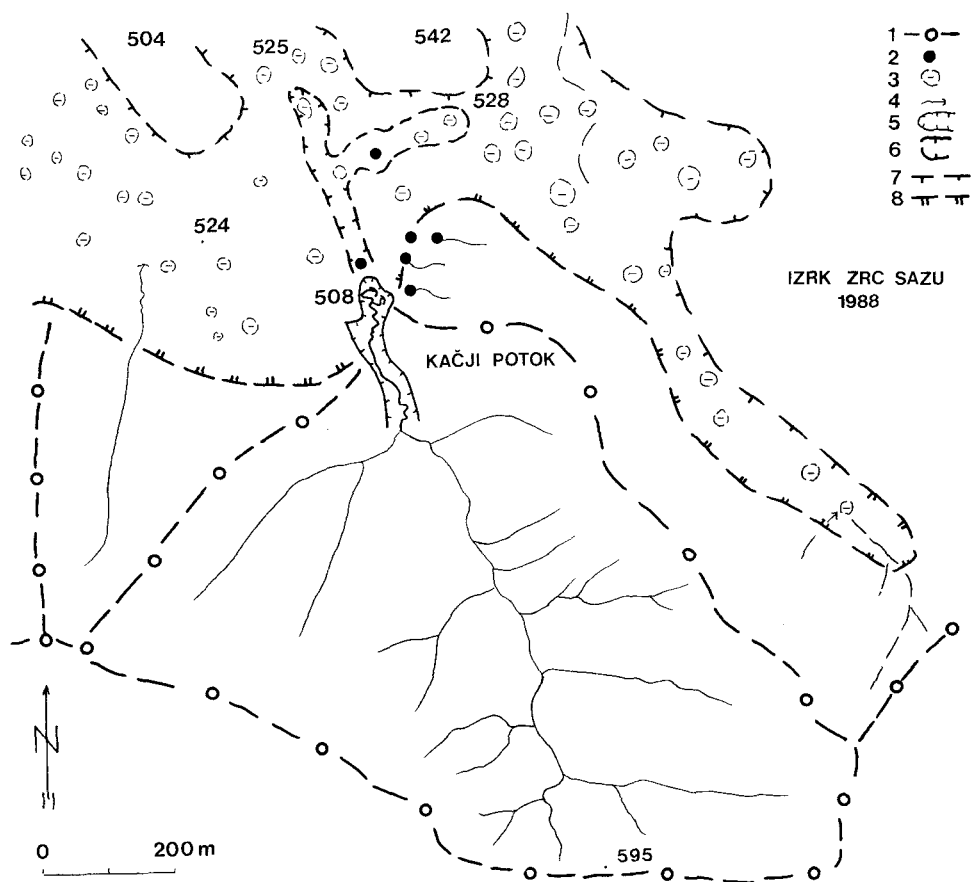




Sl. 29 Izvir Bilpe ob strugi Kolpe

Fig. 29 Bilpa spring near Kolpa riverbed

Ničelni vzorci vode so bili vzeti iz ponorov in opazovanih izvirov na dan vlitja sledil. Za določitev ozadja salmonelnih bakteriofagov so bili vzorci obdelani z MPN metodo in metodo direktnega agarskega preliva. Metoda MPN je pokazala rahlo ozadje pri izviroh Radešice (51 pfe/100 ml), Obrščice (51 pfe/100 ml), Nerajčice (51 pfe/100 ml), Tropotca (10 pfe/100 ml), Kotnice (51 pfe/100 ml), Krupe (51 pfe/100 ml) ter Željnskega potoka (51 pfe/100 ml) in Rinže (51 pfe/100 ml). Pozitivni rezultat z metodo agarskega preliva se je pojavil tudi pri izviroh Jelševnika (5 pfe/ml), Nerajčice (1 pfe/ml), Dolskega potoka (0,3 pfe/ml), Kotnice (0,6 pfe/ml) in pri ponoru Željnskega potoka (0,3 pfe/ml). Prisotnost salmonelnih fagov v vodi ne predstavlja pomembnejšega ozadja, ki bi motilo sledilni poskus, je pa znak močnega fekalnega onesnaženja, ki po vsej verjetnosti izvira iz prašičjih farm.



Sl. 30 Morfološko hidrografska skica Kačjega potoka

1 - površinsko razvodje, 2 - grezi, 3 - vrtače, 4 - ponikalnica, 5 - slepa dolina, 6 - stara slepa dolina 7 - kraški rob suhe doline, 8 - rob nepropustnega površja

Fig. 30 Morphological hydrographical sketch of Kačji potok

1 - superficial watershed, 2 - sinkholes, 3 - dolines, 4 - sinking flow, 5 - blind valley, 6 - old blind valley, 7 - karst border of dry valley, 8 - the border of impermeable surface

V Kačji potok s pretokom 8 l/s sta M. BRICELJ in M.ŠIŠKO dne 12.aprila 1988 ob 11.45 uri vliła 15640 ml fagne juhe s skupnim titrom  $4,2 \times 10^{15}$  pfe. Prvi fagi so se pojavili 26. aprila ob 7 uri v 19 km oddaljenem izviru Radešice, torej po 331 urah, vrh sledilnega vala z 70,4 pfe/ml je dosežen 1.maja ob 7 uri s 70,4 MAP-pfe/ml, po 451 urah. Konec vala je bil zabeležen 15.junija ob 7 uri. Izračunana težiščnica vala znaša 511,4 ure. Navidezna hitrost do začetka sledila v Radešici je bila 1,61 cm/s, do pojava najvišje koncentracije pa 1,18 cm/s. To je največja hitrost zabeležena v tem kombiniranem sledilnem poskusu (Sl.31).



Sl. 31 Radešica tik pod izvirom pri Podturnu

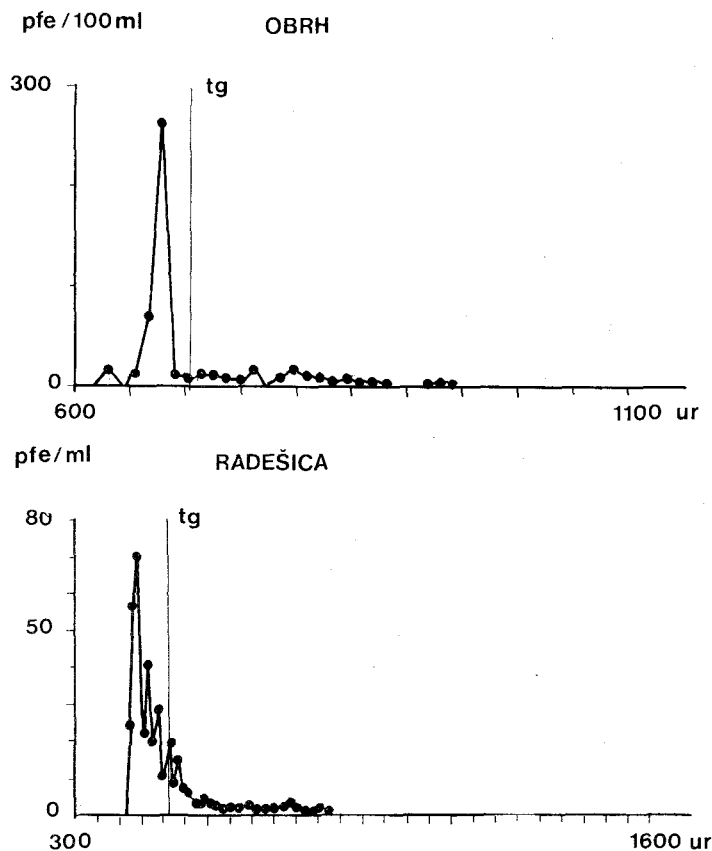
Fig. 31 Radešica close to the spring near Podturen

V izviru Obrha so se prvi fagi pojavili 8. maja ob 19 uri, vrh sledilnega vala z 266 pfe/100 ml 10. maja ob 19 uri in konec vala 20. junija ob 7 uri. Izračunana težiščnica vala znaša 704,6 ure. Prvi fagi so se torej pojavili šele po 619 urah, vrh sledilnega vala pa po 679 urah. Manjše hitrosti 0,89 in 0,82 cm/s za pretakanja med Željnam in Obrhom so bolj podobne hitrostim drugih ponikalnic iz Kočevskega polja proti Krki in Kolpi.

V analiziranih vzorcih iz drugih opazovanih izvirov, zajetih od sredine aprila do sredine maja, ni bilo fagov, iz česar sklepamo, da vode Kačjega potoka odtekajo le v Radešico in Obrh (Sl.32).

### Sledenje Željskega potoka

Na vzhodnem obrobju Kočevskega polja je v plitvem krasu med Klinjo vasjo in Željnam več manjših ponikalnic. Vode se stekajo z vzhodnega območja nepropustnih terciarnih plasti pri Kočevju. Na severozahodni strani je ponorno območje treh Vodnih jam pri Klinji vasi, vanje se odteka voda z okrog 18 ha površine, med drugim tudi odtok iz bližnje svinjske farme, ki je že popolnoma onesnažil podzemlje tja do izvirov Radešice.



Sl. 32 Krivulja koncentracije fagov v Obrhu in Radešici po sledenju Kačjega potoka od aprila do junija 1988

Fig. 32 The curve of phages concentrations in Obrh and Radešica after tracing of Kačji potok from April until June 1988

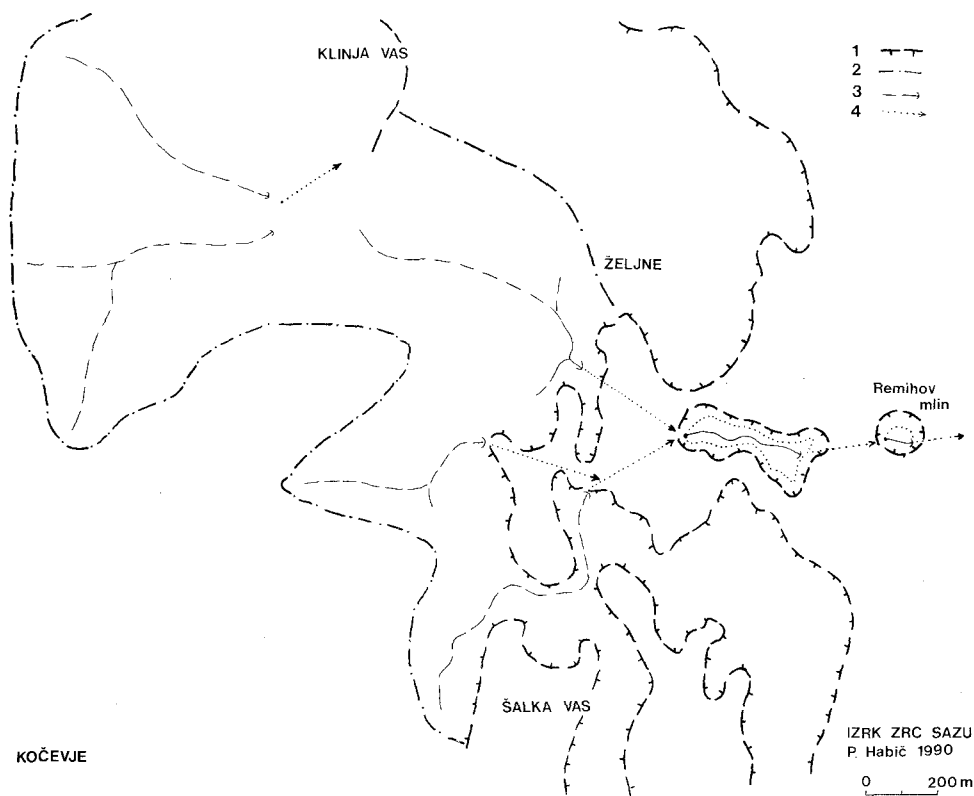
Drugo požiralno območje je povezano s spletom 1600 m dolgih Željnskih jam (kat.št.12). V tamkajšnjem podzemlju se združijo trije potoki, ki zbirajo vodo z okrog 80 ha površja. Željnske jame sestavlja več ločenih delov, ki so hidrološko med seboj povezani (A. KRANJC 1972). V speleološkem pogledu ločimo starejše prostornejše rove, nad katerimi se je strop na več krajih udril in tako so podori prvotni jamski sistem razdelili na več jam. Mlajši rovi so izoblikovani ob današnjih tokovih in so že na debelo zasuti s premogovimi odpadki iz nekdanjega kočevskega premogovnika pri Šalki vasi. Jugovzhodno od Željn je območje plitvega kontaktnege krasa brez izrazitih ponikalnic. Vode se verjetno podzemeljsko stekajo v Željnski potok (Sl.33).



Sl. 33 Željnski potok v udornici pred Remihovim mlinom z naplavinami premogovega prahu iz rudnika pri Kočevju

Fig. 33 Željne brook in collapse doline before Remih mill with coal dust sediments from the mine near Kočevje

Za kombinirani sledilni poskus smo izbrali ponor Željskega potoka pri podrtem Remihovem mlinu v zadnji udornici pri Željnah. V okrog 20 m globoki udorni vrtači je nekaj čez 100 m dolgo naplavljenno dno, v katerega si je potok, ki izvira na zahodni, ponika pa na vzhodni strani vrtače, zarezal do 3 m globoko strugo. Voda izginja v manjšo jamo, ki je bila pred leti očiščena in zavarovana z železnimi grabljami (Sl.34).



Sl. 34 Morfološko hidrografska skica Željnskega potoka pri Kočevju

1 - kraški rob, 2 - površinsko razvodje, 3 - ponikalnica, 4 - podzemeljski tok, obarvan je bil požiralnik pri Remihovem mlinu

Fig. 34 Morphologic hydrographical sketch of Željne brook near Kočevje

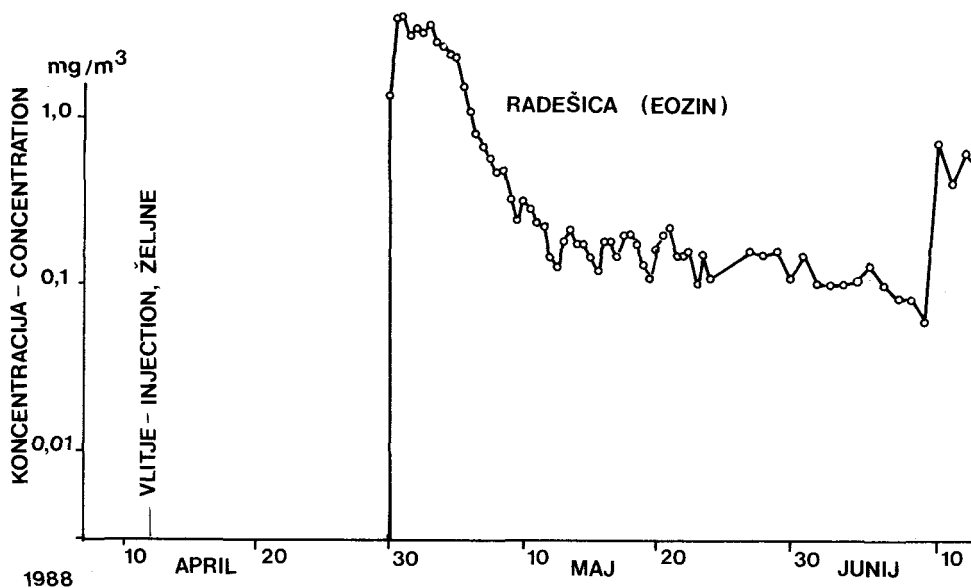
1 - karst border, 2 - superficial watershed, 3 - sinking flow, 4 - underground flow, the swallow hole near Remih mill was dyed

V omenjeni požiralnik sta 12. aprila ob 13 uri T. SLABE in A. VADNJAL vlila 25 kg raztopljenega eozina. Ob vlitju je imel potok pretok 60 l/s. V naslednjih dneh so vode sicer upadale, vendar je bil požiralnik pri Remihovem mlinu ves čas aktiven. Deževje ob koncu aprila je tudi v podzemlju Kočevskega Roga pospešilo otekanje sledila.

Prva sled eozina se je pojavila v 14,7 km oddaljenem izviru Radešice 30. aprila ob 7 uri, v razmeroma visoki koncentraciji 1,3 mg/m<sup>3</sup>. Vrh barvnega vala se je pojavil že naslednji dan, 1. maja 1988 ob 7 uri. Skozi podzemlje Kočevskega Roga je sledilo potovalo 17 dni ali 426 ur, in sicer do začetka barvnega vala s hitrostjo 0,98 cm/s, do vrha vala pa z 0,84 cm/s. Celotni barvni val se je raztegnil na več kot 1200 ur. Vrh sledilnega vala s koncentracijo 3,85 mg/m<sup>3</sup> je v primerjavi z največjo koncentracijo sledilnega vala v Bilpi

nižji, vendar je val daljši, saj so se razmeroma visoke koncentracije zadrževale še ves maj do začetka junija. Po 9.juniju pa se je pojavil drugi vrh, ki se je nadaljeval še po prenehanju vzorčevanja, saj je bilo v zadnjem vzorcu z dne 18.junija eozina še okrog  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . Barvni val je torej trajal več kot 50 dni, torej trikrat dalj od časa po vlitju, do prvega pojava sledila v izviru (Sl.35).

Na podlagi razpoložljivih podatkov o pretokih Radešice, dobljenih po vodomerni postaji Hidrometeorološkega zavoda Slovenije, smo izračunali, da se je pojavilo v tem izviru okrog 45% vlitega eozina. Ta delež najbrž ne bi bil bistveno večji, če bi dodali še neopazovani končni del vala. Pričakovali smo, da se bo pojavilo sledilo tudi v izviru Obrha, ki je le 1 km oddaljen od Radešice. To še toliko bolj, ker so se v Obrhu pojavili fagi iz Kačjega potoka. Vrh sledilnega vala fagov v Obrhu se je pojavil skoraj 14 dni za vrhom v Radešici in se časovno ujemal z drugim vrhom eozina v Radešici. Odsotnost eozina v Obrhu si lahko razlagamo z veliko razredčenostjo. Koncentracija fagov v Obrhu je bila namreč 25 krat nižja kot v Radešici. Pri eozinu pomeni 25 krat nižja koncentracija že mejo določljivosti. Ne glede na to ostaja odprto vprašanje, zakaj se niti fagi niti eozin niso pojavili v Obrhu istočasno s prvim valom v Radešici. Pretakanje voda v podzemlju Roga in v zaledju obeh izvirov še ni dovolj pojasnjeno.



Sl. 35 Krivulja koncentracije eozina v Radešici po barvanju Željnskega potoka od aprila do junija 1988

Fig. 35 The curve of Eosine concentrations in Radešica after Željne brook dyeing from April until June 1988

Tabela 6: PREGLED TRAJANJA SLEDILNIH VALOV IN HITROSTI PRETAKANJA VODA.

Ponor/ Sledilo Izvir	dH m	D km	G °/oo	t <sub>1</sub> h	t <sub>2</sub> h	v <sub>1</sub> cm/s	v <sub>2</sub> cm/s	T h
Koprivnik/ Rodam.								
Dolski potok	420	10.8	38.9	258	318	1.15	0.94	672
Rinža/ Uranin								
Bilpa	264	11.5	23.0	403	463	0.79	0.69	936
Željne/ Eozin								
Radešica	290	15.0	19.7	426	450	0.98	0.84	1200
Kačji potok/Fagi								
Radešica	365	19.2	19.0	331	451	1.61	1.18	1200
Kačji potok/Fagi								
Obrh	365	20.0	18.3	619	679	0.89	0.82	288

dH - višinska razlika med ponorom in izvirom v metrih

D - razdalja med ponorom in izvirom v km

°/oo - strmec v promilih

t<sub>1</sub> - čas do prvega pojava sledila v urah

t<sub>2</sub> - čas do vrha sledilnega vala v urah

v<sub>1</sub> - navidezna hitrost do prvega pojava sledila v cm/s

v<sub>2</sub> - navidezna hitrost vrha sledilnega vala v cm/s

T - dolžina sledilnega vala v urah

## SLEDENJE V ZALEDJU DOBLIČICE LETA 1989

Na območju Kočevskega Roga in Poljanske gore med Koprivnikom in Dobličami so znani le majhni studenci, ki solzijo iz dolomitnih vložkov med povsem zakraselimi apnenčevimi skladi. Ti studenci so bili nekdanj pomemben vir pitne vode gozdarjem in pastirjem, oskrbovali pa so tudi manjše kočevarske zaselke sredi gozdnate planote.

Nekaj studencev je razporejenih ob robu plitvih kraških globeli, ki so predstavljale kulturne oaze sredi gozda. Na izkrčenih površinah v dnu globeli so bili nekoč pašniki. Ponekod so ob studencih še lovske in gozdarske koče ter hlevi za živino. Na območju Mirne in Poljanske gore so znani naslednji viri žive vode: Ponikve, Resa, Travniki, Ribnik, Štale, Gričice, Golobinjak, Planina, Sredgora, Topličice, Ovčjak, Nakelski zdenec, Šternica, Štirje studenci, Miklarski zdenec, Pri vrbi, Kozlov zdenec, Brula, Pod Vugelnice, Grobak, Škalve in Lipovec.

Izmed navedenih smo za drugi kombinirani sledilni poskus izbrali Ponikve na Mirni gori in Zdenec pri Miklarjih. Za tretje sledilo, ki smo ga imeli na voljo, smo izbrali poni-kalnico pri Vrčicah v podolju nad Črmošnjicami vzhodno od Mirne gore. Mesta za vlitje



sledil so bila izbrana na podlagi predhodnega študija geoloških, geomorfoloških in speleoloških razmer. Za ponikalnico na Vrčicah smo domnevali, da lahko odteka v Krupo, Dobljico, ali Črmošnjico. Njena lega in količina vode sta bili razmeroma ugodni, zato smo pričakovali koristne podatke. V Ponikvah na Mirni gori je izginjala v podzemlje majhna vodica, kar ni bilo ugodno za sledenje. Pomembna pa je lega Ponikev na prehodu Kočevskega Roga v Poljansko goro. Tu smo pričakovali razvodje med Dobljico in Radešico. Tretji požiralnik pri Miklarjevem zdencu je bil vkljub majhnemu pretoku primeren predvsem s svojo lego v ožjem zaledju Dobljice na Poljanski gori. Ker leži blizu ceste, smo pretok lahko umetno povečali z dovozom vode.

### Pregled vzorčevanja izvirov

V opazovanje in vzorčevanje so bili vključeni naslednji izviri: Radešica (5), izvir pri Kočevskih Poljanah (6), Izvir Črmošnjice v Srednji vasi (8), Krupa (41), Jelševnik (11), Dobljica (13), Obrščica (15) in Sušica (43). Vzorčevanje je trajalo od 9. maja do 5. julija, pri Dobljici do 10. julija, pri Sušici pa le do 30. junija. Vzorci so bili vzeti enkrat dnevno, le pri Dobljici dvakrat.

Tabela 7: PREGLED VZORČEVANJA IN ANALIZ

Št. izv.	Ime izvira	Čas vzorč.	Št.vzor.	Anal/barv	Anal/fag
1	Radeščica	9.5.-30.6.	53	31	26
2	Koč. Poljane	9.5.-29.6.	43	26	26
3	Sred. vas	9.5.- 5.7.	58	26	26
4	Krupa fag.	9.5.- 1.7.	54	30	54
4a	Krupa kol.	9.5.- 3.6.	0	0	26
5	Jelševnik	9.5.-30.6.	52	56	26
7	Obrščica	9.5.-26.6.	49	25	0
8	Sušica	9.5.-30.6.	41	0	14
9	Dobljica	10.5.-10.7.	116	85	16
	slepi vzorci	9.5.	9	9	9
skupno			475	288	214

Skupno je bilo zajetih 475 vzorcev, za analize barvil pa izbranih v okviru finančnih možnosti le 288 in za fage 214 vzorcev. Analize fluorescenčnih barvil je opravila po ustaljenih metodah s spektrofotometrom Perkin Elmer 204 inž. M. Zupan iz Hidrometeorološkega zavoda, analize bakteriofagov pa je opravil mag. M. Bricelj s sodelavci na Inštitutu za biologijo Univerze v Ljubljani.

Sledenje smo izvedli ob spomladanskem upadanju voda. Pri majhnih ponikalnicah v takih razmerah sledila zastajajo. Zato smo v želji, da bi pospešili odtekanje sledil, dve ponikalnici še dodatno zalili s pripeljano vodo. Po sušnih dneh v začetku maja je prišlo

izdatno deževje, saj so vode po 13.maju izredno narastle, kar je pospešilo pretakanje sledil skozi podzemlje.

Ničelni vzorci so bili zajeti v opazovanih izvirih in ponorih isti dan, kot smo vlili sledila. V nobenem od ničelnih vzorcev niso bila prisotna uporabljena sledila. Iz analize drugih vzorcev izhaja, da so se sledila pojavila v časovnem zaporedju in koncentracijah, ki dovoljujejo zanesljiv sklep o ugotovljenih zvezah med požiralniki in izviri, nakazane pa so tudi dvomljive zveze.

### **Zveza ponikalnice Rečice pri Vrčicah s Krupo\***

V črmošnjiškem podolju ob vzhodnem robu Kočevskega Roga je med Črmošnjicami in Vrčicami blok triasnega dolomita. V njem je površinsko razvodje pri Brezju (538) med Divjim potokom v povirju Črmošnjice, ki se steka v Krko, in ponikalnico Rečico, ki ponika pri Vrčicah v višini med 475 in 480 m. Voda se izgublja na več mestih v strugi že



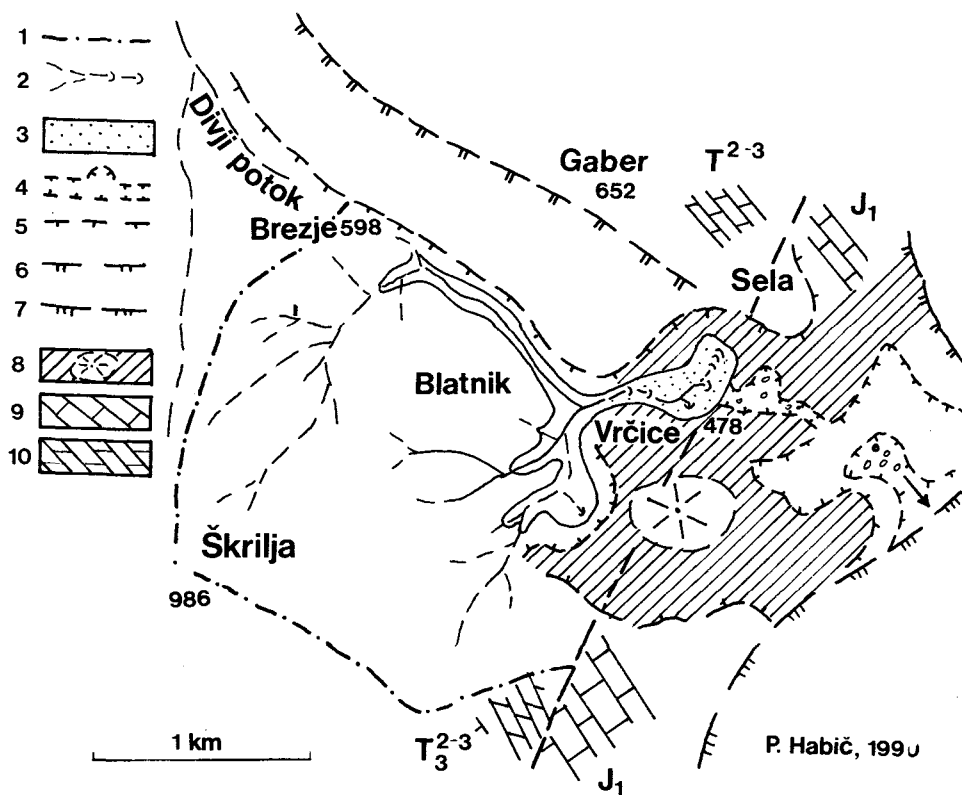
Sl. 36 Pogled na ponorno območje Rečice pri Vrčicah. Pomembnejše požiralnike označuje grmovje med njivami, Rečica pa ponika tudi v dolini nad cerkvijo.

Fig. 36 View to ponor area of Rečica near Vrčice. Important swallow holes are marked by bushes among the fields, Rečica sinks in the valley above the church

\*Sledenje s fagi je izvedel mag. M. BRICELJ

skoraj kilometer prej in le visoke vode dosežejo skrajne požiralnike južno od Sel (Sl.36). Ponikalnica pri Vrčicah zbira vodo z vzhodnega vznožja dolomitne Mirne gore (1047) in Škrilja (1012). Manjši studenci pri Blatniku so zajeti za črnomaljski in semiški vodovod.

Na dan sledenja 10.5.1989 je Rečica izginjala v pokritem delu struge pri domačiji nasproti cerkve v Vrčicah. Struga je v tem delu obzidana in prekrita z betonskimi ploščami, da imajo pri hiši več prostora. Na pritočni strani je imel potok okrog 5 l/s, na spodnji strani ob cesti Vrčice - Planina pa je bila struga suha (Sl.37).



Sl. 37 Morfološko hidrografska skica ponikov pri Vrčicah

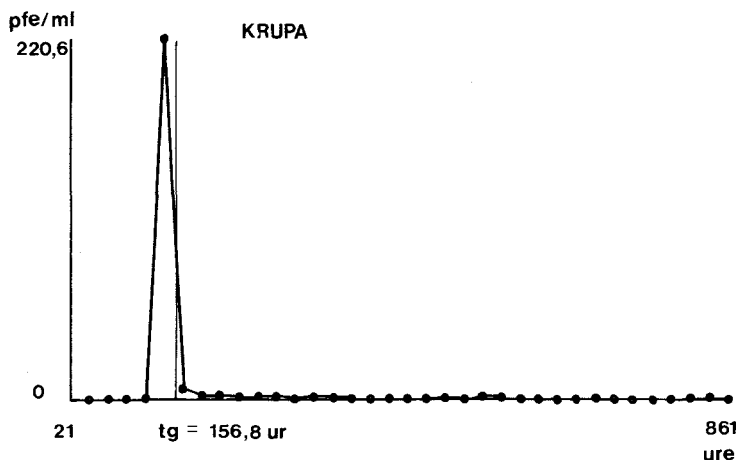
1 - površinsko razvodje med pritoki Krke in Kolpe, 2 - ponikalnica s ponori, 3 - naplavljenno dno slepe doline, 4 - suha dolina, 5 - spodnji rob rebri, 6 - vimolska reber, 7 - semiška reber, 8 - del višjega ravnika, 9 - jurski apnenec, 10 - triasni dolomit

Fig. 37 Morphologic hydrographic sketch of swallets near Vrčice

1 - superficial watershed among the tributaries of Krka and Kolpa, 2 - sinking flow with ponors, 3 - alluvium bottom of dry valley, 4 - dry valley, 5 - lower border of slope, 6 - Vimole slope, 7 - Semič slope, 8 - a part of higher plain, 9 - Jurassic limestone, 10 - Triassic dolomite

V potok pri Vrčicah sta mag.M.BRICELJ in mag. G. KOSI, sodelavca Inštituta za biologijo Univerze v Ljubljani, lo.5.1989 ob 11 uri vlila pripravljeno količino bakteriofagov P22H5 ( $5.1 \times 10^{15}$  pfe), vzporedno za primerjavo pa še  $3 \times 10^{13}$  kolifagov T 7. Sledilo je takoj odteklo v podzemlje. Iz poročila mag.M.Briclja povzemamo:

Bakteriofagi, vlti v Rečico na Vrčicah, so se pojavili le v Krupi in v nobenem drugem vzorčevanem izviru. V Krupi so bili ugotovljeni fagi v vzorcu z dne 16.5. 1989 ob 7 uri. Po količini fagov v naslednjih vzorcih sodeč je bila najvišja koncentracija v prvem vzorcu z 220,6 pfe/ml. Zadnji pozitivni vzorec je bil zajet 14.6. s koncentracijo na meji določljivosti ( 0,2 pfe/ml ). Težiščnica vala je bila na 156,8 urah. Za 6 km zračne razdalje je sledilo potrebovalo 72 ur, val pa je trajal okrog 500 ur. Začetna hitrost je znašala 2,7 cm/s, končna pa 0,3 cm/s. Sledilo je prve tri dni odtekalo ob nizkih vodah počasi, po močnem dežju pa se je nato v dveh dneh pojavilo v izviru (Sl.38).



Sl. 38 Krivulja koncentracije fagov v Krupi ob sledenju Vrčice od maja do junija 1989

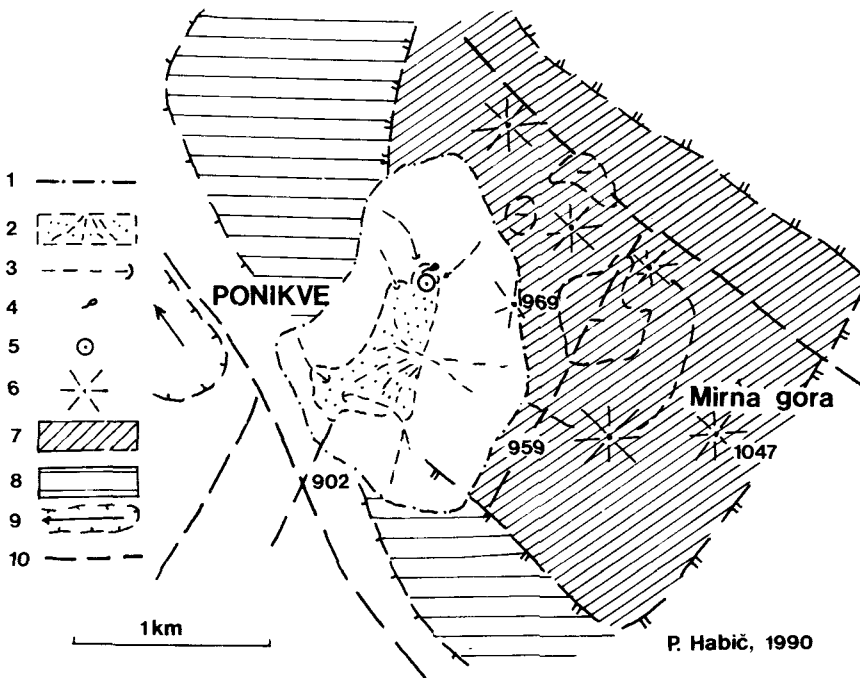
Fig. 38 The curve of phages concentrations in Krupa during Vrčice tracing from May 1989 until June

Če računamo z najmanjšo hitrostjo 0,3 cm/s, je v prvih treh dneh napravilo sledilo 777 m podzemeljske poti, nadaljnih 5.223 m pa je premagalo v naslednjih dveh dneh s hitrostjo 3 cm/s. Razmerje med najmanjšo in največjo hitrostjo znaša torej 1:10. Iz dobljenih podatkov sklepamo, da se voda iz Vrčic razmeroma počasi odteka proti Krupi. Očitno v tem delu zaledja Krupe ni izrazitejših pretočnih žil vključno višinski razliki 345 m oziroma  $57^\circ/\infty$  strmca.

### Raztekanje vode iz Ponikev na Mirni gori

Mirna gora(1047m)je skrajna JV grmada v razgibani kraški planoti Kočevskega Roga. Na vzhodni strani strmo prehaja v črmošnjiško podolje in proti Kotu pri Semiču.

Severno, južno in zahodno okrog nje je nižje planotasto kraško površje, razčlenjeno v kopaste vrhove ter vmesne dolaste uvale. Značilna taka uvala leži dober kilometer zahodno od najvišjega dela Mirne gore (D, NOVAK, 1968). Okrog 300 m široka in skoraj 800 m dolga globel je zasuta z dolomitnim gruščem in ilovico, ki ju je sprala voda z obrobnihi strmih pobočij. Nasuto travnato dno globeli visi od 820 do 800m n.m.v. proti zahodu, kjer je nekaj aluvialnih rup. Do nekdanjih požiralnikov vodijo plitve zatravljenе struge. V globeli je bila nekdanj kočevarska vas Ponikve, ruševine hiš in gospodarskih poslopij so še vidne ob vzhodnem višjem obrobju. Od hiš vodi proti severu poljska pot do požiralnih rup, kjer izginjata ločeno dva majhna potočka, ki se stekata po grapah s severnega obrobja. Majhen stalni in obzidan studenec je ob vzhodju stranske grape vzhodno od največje požiralne kotanje (Sl.39).



Sl. 39 Morfološko hidrografska skica Ponikve na Mirni gori

1 - zgornji obod uvale, 2 - naplavljeno dno uvale, 3 - ponikalnica, 4 - stalni studenec, 5 - požiralna rupa 6 - kopasti vrh, 7 - višja kopasta grmada Mirne gore, 8 - nižje kopasto površje, 9 - suhi kraški dol, 10 - večje kraške brazde

Fig. 39 Morphologic hydrographical sketch of Ponikve on Mirna gora

1 - upper border of ouvala, 2 - alluvium bottom of ouvala, 3 - sinking stream, 4 - permanent source, 5 - swallow hole, 6 - sigmoid summit, 7 - higher sigmoid summit of Mirna gora, 8 - lower conical surface, 9 - dry karst ouvala, 10 - bigger karst furrows

Vodice, ki se odcejajo iz jurskega dolomitnega obrobja, ponikajo torej v več ločenih požiralnikih ali pa se izgublajo kar v gruščnati dolomitni naplavini. Del ponikajoče vode zasledimo v dnu največje ponikalne kotanje v obliki dvodelnega greza. V okrog 30 m dolgi in 15 m široki ter 8 m globoki ilovnati kotanji izvira in po kratkem toku ponika potoček, ki zbira vodo iz peščeno ilovnate naplavine. Voda odteka v 0,3 m široko luknjo v dolomitu v višini okrog 800 m. Vanjo sta vlila dne 10.5.1989 ob 12 uri mag. J. KOGOVŠEK in L. DRAME raztopino 15 kg uranina. Naslednji dan smo dodali še 7 m<sup>3</sup> vode iz gasilske cisterne, da bi pospešili odtekanje sledila globlje v podzemlje. V ničelnih vzorcih izvirov, vzetih pred vlitjem, uranin ni bil določen, z izjemo Radešice (9.5. 0,009 mg/m<sup>3</sup>). Tudi sled uranina v Obrščici, določena v vzorcu, vzetem dne 10.5., ne izhaja iz Ponikev, pač pa gre v tem primeru za drug izvor ali onesnažen vzorec.

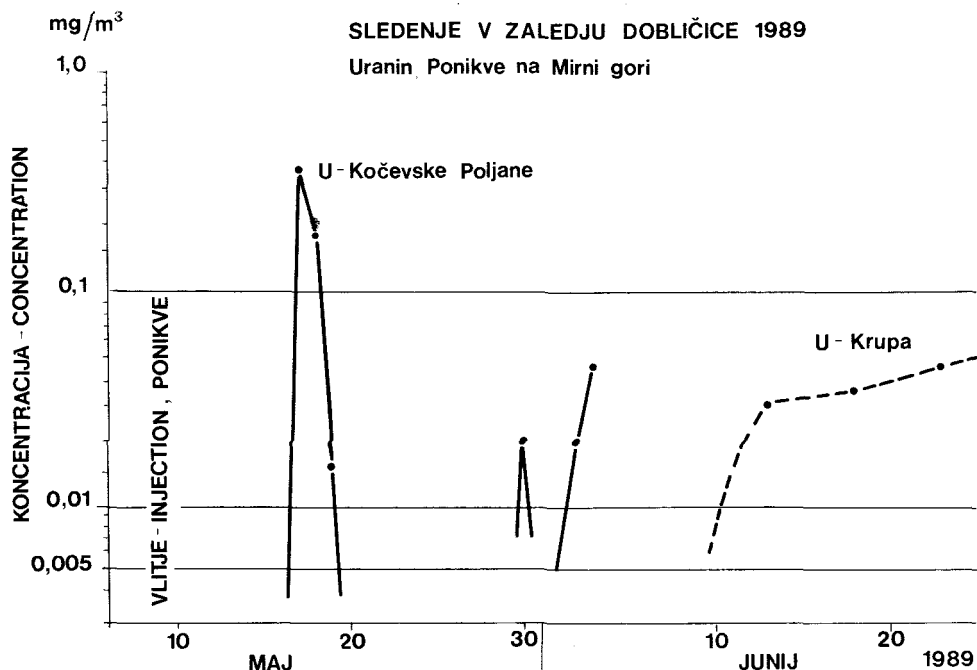
Uranin iz Ponikev se je pojavil v izviru ob Črmošnjici pri Kočevskih Poljanah (6), 17.5. ob 18.30 v koncentraciji 0,37 mg/m<sup>3</sup>. Takrat je bil že dosežen vrh barvnega vala. V naslednjih dveh dneh se je koncentracija zniževala, 18.5. na 0,7 mg/m<sup>3</sup> in 19.5. na 0,015 mg/m<sup>3</sup>, 20.5. pa je padla že pod mejo detekcije. Sled uranina je bila ugotovljena še v vzorcih z dne 30.5. (0,02 mg/m<sup>3</sup>) ter 2. in 3.6. (0,02 in 0,045 mg/m<sup>3</sup>).

Za 10 km razdalje in 630 m višinske razlike med ponorom in izvirom je sledilo potrebovalo med 150 in 174 ur. Prvi val je trajal le 72 ur, na kar je koncentracija padla pod mejo določljivosti. Po 462 do 486 urah od vlitja uranina se je koncentracija spet dvignila nad mejo določljivosti, v naslednjih dveh dneh se je znižala, nato pa spet narasla. Tudi pri tem sledenju moramo upoštevati vodne razmere po dežju, ki je tretji dan po vlitju pospešil odtok in nato razredčil sledilo. S ponovnim izpiranjem Ponikev se je najbrž oblikoval drugi barvni val. Tega smo zajeli le na začetku, ker smo opazovanja prekinili, ne da bi vedeli za ponovno naraščanje koncentracije.

Navidezna hitrost prvega pojava sledila znaša med 1,6 in 1,85 cm/s, pri drugem pa 0,57 do 0,60 cm/s. Če računamo, da je bila prve tri dni, torej pred dežjem, hitrost okrog 0,5 cm/s, je v tem času sledilo prepotovalo 1,3 km podzemlja. V nadaljnjih 8,7 km poti pa se je njegova hitrost povečala na 3,3 cm/s. Ta hitrost je zelo podobna oni med Vrčicami in Krupo, kar nakazuje tudi podoben način podzemeljskega pretakanja.

Po daljšem času se je uranin pojavil še v Krupi. V vzorcu z dne 13.6. ob 7 uri je koncentracija uranina znašala 0,03 mg/m<sup>3</sup>, v vzorcu z dne 18.6. in 23.6. pa je narasla na 0,035 in 0,040 mg/m<sup>3</sup>. Ker so bili ob koncu opazovalne dobe analizirani le tedenski vzorci, lahko iz razpoložljivih podatkov sklepamo, da se je barvni val uranina v Krupi začel že med 7.6. in 13.6. in se je nadaljeval še po 23.6., vsekakor je bil daljši od 10 dni. Le malo je namreč možnosti, da bi se sledilo slučajno pojavilo vsak teden enkrat in to le v analiziranem vzorcu (Sl.40).

Uranin se je potemtakem zanesljivo pojavil v Krupi po 34, lahko pa že po 27 dneh, ali med 643 in 816 urami po vlitju. Val je po vsej verjetnosti trajal vsaj 240 ur, upravičeno pa domnevamo, da še precej dalj, saj je bila koncentracija po 10 dneh približno enaka in še ni začela upadati. Uranin se je usmeril iz Ponikev proti Krupi verjetno šele po dodatnem izpiranju obarvanega požiralnika z izdatnim dežjem, 13.5.1989. Močan naliv je očitno vplival na kraško raztekanje oziroma podzemeljsko bifurkacijo na območju Mirne



Sl. 40 Krivulja koncentracije uranina v izviru pri Kočevskih Poljanah in v Krupi po barvanju ponikalnice na Ponikvah

Fig. 40 The curve of Uranine concentrations in the spring near Kočevske Poljane and in Krupa after dyeing the sinking flow on Ponikve

gore. Na 10,5 km dolgi poti z višinsko razliko 676 m iz Ponikev proti Krupi je uranin potoval z navidezno hitrostjo 0,35 cm/s, do konca vala pa le še z 0,2 cm/s.

Hitrost tega toka je podobna nizkemu odtoku z Vrčic proti Krupi ali s Ponikev proti Kočevskim Poljanam. Značilna je za počasno globinsko pretakanje voda. Ker se uranin ni pojavil v pomembnejših koncentracijah v nobenem drugem opazovanem izviru, sklepamo, da se vode iz območja Mirne gore raztekajo v Radešico in Krupo. Morebitni odtok proti Jelševniku in Dobličici je ostal pod mejo določljivosti.

V Jelševniku in v izviru pri Srednji vasi uranina nismo določili, v Dobličici pa so bile ugotovljene zelo nizke koncentracije med 6.6. in 10.6. Te sledi bi časovno sicer lahko primerjali z barvnim valom v Krupi med 13. in 23.6., koncentracije pa so desetkrat manjše. Zato zveza Ponikev z Dobličico ni zanesljiva. Če bi se hkrati pojavil uranin tudi v Jelševniku, bi bila zveza bolj verjetna. Ni pa izključeno, da se je v Jelševniku uranin pojavil v koncentraciji pod mejo določljivosti.

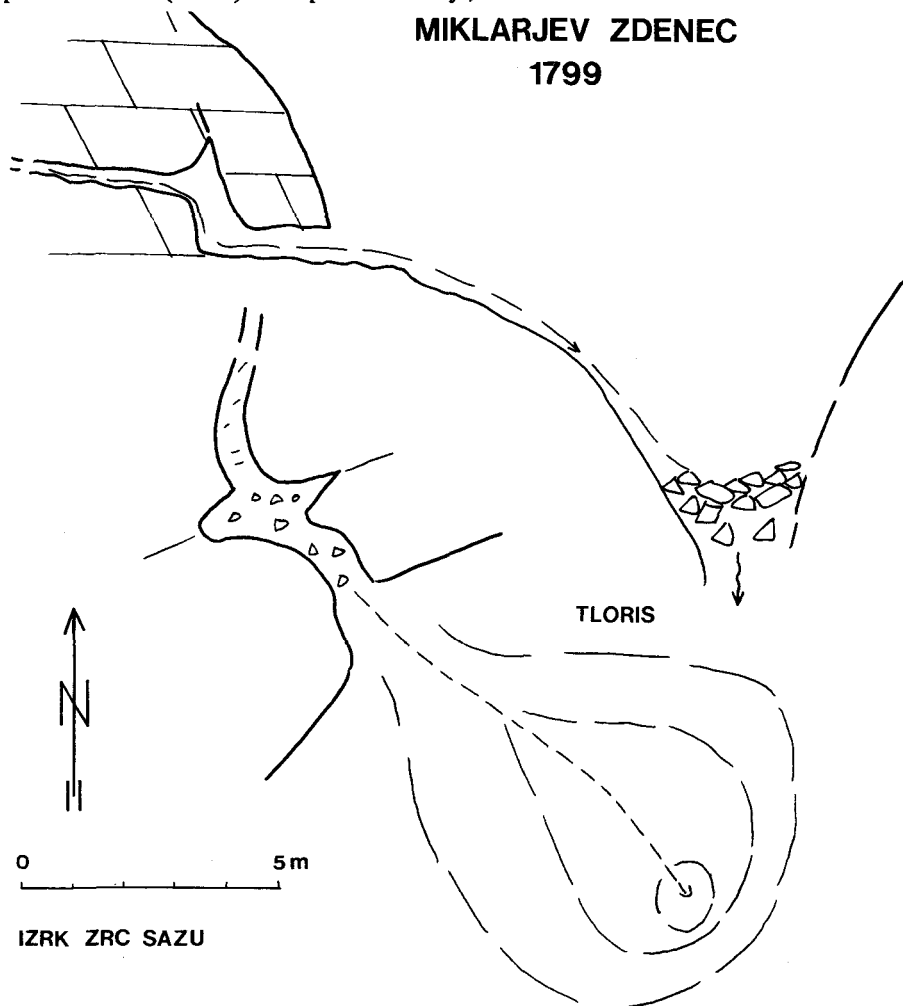
V Radešici so se 14.5., 30.5. in 1. 6. pojavile sledi uranina, ki bi lahko izhajale iz skupnega zaledja z izvirom pri Kočevskih Poljanah. Glede na prisotnost uranina v ničelnih vzorcih so možni še drugi viri. Nezanesljive stranske zveze so v veliki meri posledica izrednih vodnih razmer po vlitju sledil.

### Zveza Miklarjevega zdenca z Dobljčico

Ob cesti Dobljče - Koprivnik je dobra dva kilometra od Bistrice opuščena kmetija Miklarji. Okrog 300 m naprej je na levi južni strani ceste v dnu vrtače stalni Miklarjev zdenec. Voda se izceja iz medplastovne špranje in odteka med skalami v dnu vrtače (Sl.41). Do studenca vodi pot in ob izvirku je leseno razpadajoče korito. Studenec je imel premalo vode (o.1 l/s) za uspešno sledenje, zato smo vodo dovažali s kamionsko cisterno

#### MIKLARJEV ZDENEK

1799



Sl. 41 Skica izvira in požiralnika Miklarjevega zdenca na Poljanski gori. Požiralnik je bil obarvan z rodaminom.

Fig. 41 The sketch of spring and swallow hole Miklarjev zdenec on Poljanska gora. The swallow hole was dyed by Rhodamine.

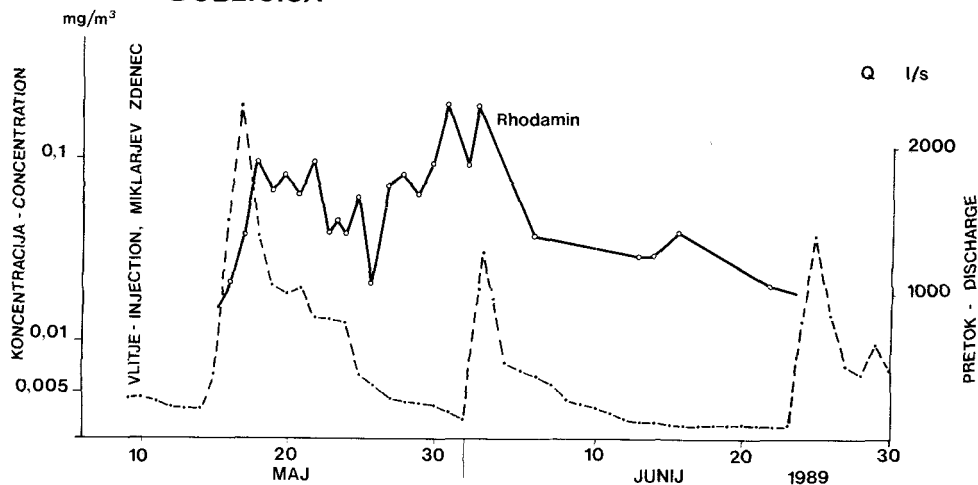


iz Črnomlja. V nekoliko očiščen požiralnik v dnu vrtače so 10.5.1989 ob 13 uri T. SLABE, N.ZUPAN in M. KRANJC vlili pripravljeno raztopino 5 kg rodamina. Dodali smo še 3 krat po 7 m<sup>3</sup> vode. Barvilo je v 5 minutah odteklo v podzemlje, pa tudi dodana voda iz cisterne je odtekala s hitrostjo 5 l/s.

V izvirih Dobličice se je pojavil rodamin iz Miklarjevega zdenca 16.5. ob 7 uri, torej po približno šestih dneh ali 138 urah. Koncentracija je prva dva dni naraščala od 0.02 do 0,10 mg/m<sup>3</sup>, nato pa je v teh mejah nihala vse do zadnjega analiziranega vzorca z dne 22.6.1989. Dne 31.5. in 2.6. je dosegla 0,12 mg/m<sup>3</sup> (Sl.42).

Prek 1000 ur dolg barvni val z razmeroma nizko koncentracijo sledila in majhnimi hitrostmi, od 0.6 do 0,09cm/s, je nedvomno posledica posebnih hidroloških razmer v zaledju Dobličice. S tem sledenjem je namreč dokazana možnost počasnega izpiranja s sledilom "onesnaženega" podzemlja ob razmeroma majhnem pretoku prenikajočega curka skozi 380 m globoko vadozno in dobre 3 km široko freatično cono. Vkljub izdatni višinski razliki in 109°/∞ strmca je pretakanje in izpiranje dolgotrajno, čeprav je močan nalive tudi tu pospešil odtok. Droben curek Miklarjevega zdenca je najmanj dva meseca enakomerno "onesnaževal" Dobličico. Za natančnejšo spremljavo pretakanja bi potrebovali pri izviru in pri Miklarjih limnigrafsko in ombrografska postaja.

### DOBLIČICA



Sl. 42 Krivulja koncentracije rodamina in pretoki ob barvanju Miklarjevega zdenca od maja do konca junija 1989

Fig. 42 The curve of Rhodamine concentrations and discharges during the Miklarjev zdenec dyeing from May until June 1989

Razen v Dobličici smo rodamin zasledili še v dveh vzorcih Krupe in sicer 28. in 29.5. s koncentracijo 0,020 in 0,010 mg/m<sup>3</sup>. Čeprav se je pojavil v posameznih vzorcih in nizkih koncentracijah, ga ne moremo povsem spregledati. Koncentracije so skoraj na meji določljivosti in z njimi zveza ni zanesljivo dokazana, ne moremo pa je povsem izključiti.

Obstaja možnost, da se iz zaledja Dobličice del globinskih kraških voda usmerja tudi proti Krupi. Rodamin se je morda pojavil v Krupi zaradi izdatnega deževja, ki je pospešilo raztekanje kraških podzemeljskih voda. Od Miklarjevega zdenca do Krupe je 13 km zračne razdalje. Sledilo naj bi tja potovalo 18 dni s povprečno hitrostjo 0,8 cm/s, to je celo nekaj hitreje kot neposredno proti Dobličici, ki je oddaljena le 3 km.

Bolj presenetljiva je ugotovitev, da se rodamin ni pojavil niti v Jelševniku niti v Obrščici, to je v sosednjih izviri na obeh straneh Dobličice. Možno je, da se je barvilo preveč razredčilo, ali pa vode Miklarjevega zdenca odtekajo le v Dobličico in imata Obrščica in Jelševnik svoje zaledje, ki ga dosedanje raziskave še niso določile.

### Ocna sledenja v letu 1989

Ugotovimo lahko, da je bil izbor ponikalnic in sledil primeren za zastavljeno nalogo. Zaradi omejenih sredstev nismo opravili vseh potrebnih predhodnih raziskav, pa tudi spremljava poskusa je bila okrnjena. V pripravljalni fazi je bilo premalo hidroloških meritev in ni bilo mogoče naročiti analiz vsebnosti izotopov v vodi. V začetku sledenja so bile sicer ugodne hidrološke razmere, sledenje pa je nato zmotilo močno deževje, ki je zelo pospešilo odtekanje.

Za izvedenotenje zvez v tako spremenljivih vodnih razmerah poskusno območje ni bilo ustrezno opremljeno. Pogrešali smo zlasti limnigrafske in ombrografske naprave in avtomatske zajemalce vzorcev oziroma pogostejše zajemanje vzorcev. Zaradi omejenih finančnih sredstev nismo mogli analizirati številnejših vzorcev voda.

Tabela 8: PREGLED UGOTOVLJENIH ZVEZ S SLEDENJEM 10. 5. 1989.

Ponik.	Izvir	sledilo	D km	dH m	t <sub>z</sub> h	t <sub>k</sub> h	v <sub>z</sub> cm/s	v <sub>k</sub> cm/s	T <sub>v</sub> h
Vrčice	Krupa	b.fagi	6	345	72	576	2,3	0,3	500
Ponikve	K.Poljane	uranin	10	630	174	576	1,6	0,5	500
Ponikve	Krupa	uranin	10,5	676	816	1056	0,3	0,2	200
Mikl.zd.	Dobliče	rodamin	3,5	383	144	1053	0,6	0,09	1000
Mikl.zd.	Krupa ?	rodamin	12.5	388	432	462	0,8	0.75	30

Opomba: D - razdalja med ponorom in izvirom  
dH - višinska razlika  
t<sub>z</sub> - čas do prvega pojava sledila  
t<sub>k</sub> - čas do zadnjega pojava sledila  
v<sub>z</sub> - hitrost do začetka sledila  
v<sub>k</sub> - hitrost do konca sledila  
T<sub>v</sub> - dolžina barvnega vala

Ne glede na težave in drobne pomanjkljivosti je sledenje v zaledju Dobličice leta 1989 dalo dobre in koristne podatke. Ugotovljene so poglavitne smeri otekanja kraških voda na razvodju med Dobličico, Krupo in Krko. Poleg neposrednih zvez Vrčice s Krupo, Ponikev s Črmošnjico pri Kočevskih Poljanah in Miklarjevega zdenca z Dobličico je dokazana tudi bifurkacija Ponikev med Krko in Krupo. Zveze Miklarjevega zdenca s Krupo in Ponikev z Dobličico niso povsem zanesljive. Za rešitev odprtih vprašanj bi bilo treba izpeljati nov poskus z večjo količino sledil ob višjih vodah in s pogostejšim vzorčevanjem ter daljšim spremljanjem hidroloških razmer. Vse to zahteva več sredstev in časa.

## GEOLOŠKO TEKTONSKA OSNOVA KRAŠKEGA ZALEDJJA DOBLIČICE

### Litološka podlaga

Po osnovni geološki karti SFRJ, list Ribnica (S. BUSER, 1974), Novo mesto (M. PLENIČAR, U. PREMUR, 1984), Črnomelj (J. BUKOVAC, M. ŠUŠNJAR, M. POLJAK, M. ČAKALO, 1984) in Delnice (D. SAVIČ, S. DOZET, 1985) prevladujejo v zaledju Dobličice, na Poljanski gori in v Kočevskem Rogu predvsem kredni in jurski apnenci v skupni stratigrafski debelini okrog 4000 m, med katerimi so tudi posamezni vložki dolomita. Pretežno skladnate kamnine vpadajo položno proti severovzhodu, tako so jurski skladi razgaljeni v Kočevskem Rogu in ob Kolpi, spodnjekredne pa na Poljanski gori in ob izviri Lahinje. Med Knežjo Lipo in Mozljem so pod jurskimi skladi razgaljeni norijsko retijski dolomiti in permski klastiti. Pri Jelševniku in Nerajcu najdemo malmske sklade na vrhnjih členih spodnje krede. V obeh primerih moramo računati z naravnimi deformacijami regionalnega pomena. Zgornje triasni dolomit je na vzhodnem obrobju Mirne gore, med Črmošnjicami in Vrčicami. Delno se ta blok triasnega dolomita površinsko odteka v Črmošnjico, delno pa v ponikalnico pri Vrčicah in z njo v Krupo. Poenostavljene geološke razmere so prikazane na pril.2.

Jurski in kredni dolomiti so vloženi med apnence in ne predstavljajo samostojnih hidrogeoloških enot. V drobnem so ti dolomiti sicer podvrženi nekoliko drugačnemu površinskemu razpadanju kot apnenci, kar se pozna v drobnih oblikovitosti površja. Povečini so v teh dolomitnih skladih posamezni viseči studenci. Podzemeljska hidrološka funkcija tega dolomita pa ni znana. Brezna segajo le v zgornjo vadozno cono, globlje pa podzemlje ni dosegljivo.

Gornje triasni dolomiti ( $^2T_3$ ) so stratigrafsko določeni na podlagi zanesljivo dokazanih lijasnih kamnin v krovlini. So precej čisti pasasti stromatoliti dolomiti brez meljasto peščenega detritusa, sestoje iz paralelnih in nagubanih tankih plasti kriptokristalastega karbonatnega sedimenta. Zaradi delne ali popolne rekristalizacije se pojavljajo tudi kristalasti dolomiti mozaične strukture. Debelina teh plasti znaša od 500 do 800m.

Jurske kamnine ( $J_{1-3}$ ) obsegajo znatnejši del površja kot triasne. Po sestavi nakazuje večjo raznolikost sedimentacijskega okolja, posebno od srednjega lijasa do spodnje

krede. Na Mirni gori prevladujejo plasti spodnjega, srednjega in zgornjega liasa. Stratigrafska pripadnost skladov je določena po legi stromatolitnega dolomita v podlagi in paleontološko dokazanih doggerskih plasti v krovni, ponekod se najdejo tudi slabo ohranjene litiotide. Stopnja dolomitizacije je različna, debelina teh plasti znaša od 600 do 700 m.

Ploščnati apnenci in dolomiti ( $J_1^{3,4}$ ) zgornjega dela spodnje jure so razmeroma čisti mikritni apnenci, ponekod so v njih vidni stilolitni šivi. Poleg apnencev se pojavljajo tudi dolomiti, pisan izgled jim daje neenakomerna dolomitizacija. Te plasti so debele od 100 do 130 m.

Doggerski apnenci ( $J_2$ ) so mikritni debelo skladoviti, od 0,8 do 2m debeline, ponekod oolitni, v podlagi in krovni se pojavljajo tudi dolomiti. Debelina teh plasti znaša okrog 500 m.

Malske plasti ( $J_3^{1,2}$ ) so v spodnjem delu zastopane pretežno z apnenci, vmes pa so kot leče vložene plasti dolomitov. Na Mirni gori je v spodnjem delu nekoliko debelejša plast dolomita. V malskih skladih je nekaj več nekarbonatne primesi, kar se pozna v večji pokritosti površja. Debelina teh plasti znaša 500 do 600 m.

Zgornje malski apnenci in dolomiti ( $J_3^{2,3}$ ) zavzemajo sorazmerno velike površine v okolici Semiča in na Mirni gori. Dolomiti se javljajo v spodnjem in zgornjem delu stolpca in so mešani med apnenci, ki so litološko precej pestri, mikritne in sparitne teksture. Njihova debelina doseže 800 m. Ponekod se v tem stratigrafskem členu pojavljajo grebenški, neskladoviti apnenci.

Spodnje kredni apnenci in dolomiti ( $K_1$ ) slede zgornje malmskim plastem. Razkriti so v sinklinalnih delih erodiranih gub. Grade pretežno del osrednjega hrpta Poljanske gore in njeno vzhodno stran. Litološko so to pretežno mikritni apnenci z večjim deležem nekarbonatnih primesi, dolomiti in dolomitizirani apnenci med njimi so redki. Debelina neokoma znaša 300 do 600 m.

Baremijski in aptski apnenci ter dolomiti spodnje krede ( $K_1^{3,4}$ ) zavzemajo največje površine Poljanske gore. Prevladujejo apnenci z redkejšimi pojavi dolomita. Debelina te stratigrafske enote znaša od 500 do 700 m.

Albijski apnenci in dolomiti ( $K_1^5$ ) se javljajo na območju Bistrice in Zglavnika. Predstavljajo jih apnenci, v katerih prevladujejo pelbiomikritni in pelmikoruditni apnenci, ponekod so vmes tudi sparitni apnenci, mikroznati dolomiti in dolomitni apnenci. Njihova debelina znaša 500 m.

Litološke razlike med apnenci v hidrogeološkem pogledu nimajo večjega pomena. Znale so sicer drobne razlike v raztapljanju in razpadanju, vendar jih glede na veliko prepustnost ne moremo upoštevati pri opredeljevanju zaledja posameznih izvirov. Zaradi neneakomerne in lečaste razporeditve tudi dolomitnih vložkov med apnenci ne moremo smatrati za hidrogeološke pregrade. Manj propustna dolomitna telesa lahko le delno in lokalno usmerjajo podzemeljsko pretakanje. Podzemeljske tokove ovirajo le zdrobljeni dolomiti ob izrazitejših prelomnih conah, sicer so apnenci in dolomiti dobro prepustni in v njih prevladuje tipično kraško pretakanje.

## Tektonska zgradba

Tektonska pretrtost karbonatnih kamnin je posledica starejšega gubanja in narivanja ter mlajšega vertikalnega in horizontalnega premikanja posameznih zgradbenih enot. V zaledju Dobljčice na razvodju med Krko in Kolpo kot tudi v širšem obrobju Bele krajine in v njej sami se prepletajo prelomi dinarske in prečne balatonske smeri, redkejši so prelomi v smeri sever-jug. Iz OGK je mogoče razbrati tudi razkosane starejše narivne enote, ki so večinoma razporejene od severovzhoda proti jugozahodu, osi gub in čela narivov potekajo v dinarski smeri.

Na geološki karti Črnomelj in v pripadajočem tolmaču so v zaledju Dobljčice prikazane naslednje tektonske enote:

1. naluskani kompleks Knežja Lipa - Vrbovsko,
2. narivni kompleks Črnomelj - Bosiljevo,
3. narivna enota Zvečaj-Metlika-Zadoborje.

Izviri Dobljčice in Lahinje so v območju tektonske enote Črnomelj - Bosiljevo, ki je sestavljena iz dveh lusk: koprivniško - kolečajske in mirnogorsko - črnomeljske. Narivna meja med luskama vpada položno proti NE, ob njej so deformirane poševne gube, normalno stratigrafsko zaporedje kot tudi debelina skladovnic pa je različno porušeno.

U. PREMUR (1977;1982) loči v narivni zgradbi Zunanjih Dinaridov na območju Dolenjske in Bele krajine več narivov iz različnih orogenetskih faz od srednjega eocena do srednjega pliocena. Po splošni uravnavi v srednjem pliocenu naj bi se uveljavili v tej pokrajini neotektonski premiki ob dinarsko in prečno potekajočih prelomih in zmikih. Posamezni bloki so bili različno premaknjeni, dvignjeni ali spuščeni. V narivni zgradbi loči topliški nariv, ki mu pripada vzhodna Suha krajina in Topliška pokrajina do Gorjancev. Nariv naj bi bil dokazan z vrtino pri Dolenjskih Toplicah, kjer so zgornje triasni apnenci na spodnje krednem apnencu. Ta nariv prehaja proti jugovzhodu v topliško gorjanski nariv, ki pripada dinarsko balatonski narivni zgradbi.

Pod topliškim je po Premru roški nariv, ki je na površju razkrit zahodno od žužemberškega preloma v Kočevskem Rogu. Pod roškim narivom naj bi bil ortneški nariv, ki je na površju viden na severnem Dolenjskem, nato pa med Kočevjem in Belo krajino. Sestoji iz zgornje triasnih, jurskih in krednih plasti. Pod ortneškim narivom je krimski nariv, ki se kaže na površju v golicah skitskih plasti pri Ribnici in permskih plasti pri Rajndolu na Kočevskem (U. PREMUR, 1982, 115). Ta nepropustna podlaga usmerja kraške vode Kočevskega polja na eni strani proti Krki in na drugi proti Kolpi, kar so potrdila tudi barvanja voda. Ob narivanju zdrobljene kamnine lahko pomenijo delne hidrogeološke pregrade, zato so narivne enote prepustnih kamnin hidrološko ločene.

Na geološki karti zarisane prelomnice so večinoma fotogeološko ugotovljene, sicer pa kartirane ali določene z vrtinami, naprimer pri Kanižarici. Čez hidrološko vozlišče pri Dobljčici in Lahinji je zarisana vijugava prelomnica Semič- Dobljčice - Radenci ter druga prelomnica med Kanižarico in Tančjo Goro pa še med Butorajem in Breznikom. Ob teh dislokacijah so prekinjeni vsi dinarsko potekajoči prelomi, kar pomeni, da gre za mlajše

prelome, ki so bili aktivni še v kvartarju. Razen za kanižariški bazen, kjer so tektonske skoke ob prelomih ugotovili z vrtnami (do 300 m), za druge prelome niso navedene velikosti premikov, pač pa je znano, da so dislokacije zmičnega značaja, ob katerih nastanejo lokalne hidrogeološke zapore.

V splošnem so premiki balatonske smeri NE - SW mlajši od dinarskih v smeri NW - SE. To je pomembno tudi za razporeditev izvirov in obseg njihovega zaledja na celotnem zahodnem obrobju Bele krajine. Izviri od Sihurne, mimo Jelševnika, Obršca, Dobličice, Podturnščice in Obrščice do Nerajčice pripadajo vsak svojemu tektonskemu bloku in med njimi doslej nismo ugotovili izdatnejših hidroloških povezav. Vendar tektonske enote niso med seboj popolnoma ločene, kot je pokazala zveza Miklarskega zdenca z Dobličico. Voda se v tem predelu pretaka vsaj navidez prečno na tektonsko razkosanost blokov, kar je lahko rezultanta prečnih in vzdolžnih smeri. Podobno velja tudi za pretakanje vode v zaledju sosednjih izvirov ob vzhodnem vzhodju Poljanske gore.

Po BUKOVCU et al.(1984) pripadata v tektonskem pogledu Poljanska in Mirna gora narivni enoti Črnomelj-Bosiljevo, po PREMRUJU (1982) pa ortneškemu narivu. Narinjena in naluskana enota zajema celotno mezozojsko serijo apnencev in dolomitov. Čelo nariva sega iz južnega obrobja Kočevske Male gore do Starega trga. Oba avtorja sta ugotovila narivno zgradbo, razlikujeta pa se v poimenovanju narivnih enot in v interpretaciji narivanja. Ker globinske strukture niso znane, ne moremo po njih soditi o hidrogeoloških razmerah celotnega karbonatnega vodonosnika.

Črnomaljska narivna enota je nagubana, prelomljena in sestavljena iz več lusk. Eni teh lusk pripada Mirna gora, drugi osrednji del Poljanske gore s Kolečajem vred. Luske so razkosane in premaknjene. Gube so široke 5-6 km, v čelih antiklinal na jugozahodnem robu prehajajo v luske s spremljajočimi tektonskimi pojavi, kot so prevrnjene gube, reverzni prelomi in tektonske redukcije strukturnih elementov pred čeli lusk.

Črnomaljska strukturna enota je narinjena proti jugozahodu. Narivni stik je zakrit z neotektonskim prelomom dinarske smeri, ob katerem je spuščeno severovzhodno krilo. Pri Radencih je enota prelomljena ob močnem transverzalnem prelomu, ki ga je mogoče slediti od Semiča, mimo Doblič in Okrožnika do Radencev ter dalje do Priseke na Hrvaškem. Ta prelom ima po našem mnenju pomembno hidrogeološko funkcijo. Njegov potek se kaže tudi v reliefu in to na različne načine.

Poljanska luska, ki jo geologi imenujejo koprivniško- koločajsko, je severno od omenjenega transverzalnega preloma Semič-Radenci intenzivno nagubana, z antiklinalnim temenom v koprivniški uvali, kjer izdajajo spodnjemalmske kamnine. V hidrogeološkem pogledu so pomembni tudi reverzni prelomi dinarske smeri, ob katerih so severovzhodna krila različno pogreznjena. Eden takih prelomov seka južni del Poljanske gore od Okrožnika prek Sinjega vrha, drugi pa poteka ob njenem vzhodnem robu od Doblič proti Vinici. Ob prelomnih, narivnih in naluskanih conah so kamnine ponekod močno zdrobljene in spremenjene v lokalne ali celo regionalne hidrogeološke bariere. Mladi tektonski premiki so še posebej vplivali na strukturne poteze v reliefu, s katerimi si pomagamo pri opredeljevanju blokov v zaledju posameznih izvirov.

V zaledju Dobličice in na razvodju med Krko in Kolpo imamo torej stare nagubane in narinjene apnenčeve in dolomitne skladovnice, ki so blokovno razlomljene. V teh blokkih prevladuje razpoklinsko in kraško podzemeljsko pretakanje, kjer padavine izkoriščajo in oblikujejo mrežo kanalov. V območju Poljanske gore potekajo od zahoda proti vzhodu, prečno na smeri gub in skladov ter narivnic in zmičnih prelomnic smeri NW-SE. Vse kaže, da so prelomi smeri NE-SW bolj prepustni kot druge poči v kamnini.

Pri analizi podatkov geološke karte je R. GOSPODARIČ (1987) opozoril na probleme v geološki zgradbi, ki bi jih bilo treba s hidrogeološkega vidika posebej rešiti. Pri Knežji Lipi je niz ponikalnic, za katere še ne vemo, kam odtekajo. Prav tako ni znano, kako globoko se tamkajšnje nepropustne permske kamnine vlečejo proti vzhodu pod karbonatno koprivniško lusko, kolikšna je torej narivna pot koprivniške luske na naluskani kompleks Knežja Lipa - Vrbovsko. V celotnem zaledju kraških izvirov je prav gotovo še več odprtih hidrogeoloških vprašanj. Zanimivo bi bilo pojasniti, zakaj odteka Kačji potok v Radešico, Koprivniški potok pa v Dolskega in ne v Dobličico.

## KRAŠKI RELIEF V ZALEDJU DOBLIČICE MED KRKO IN KOLPO

### Hidrološki pomen kraških reliefnih značilnosti

Ob svojevrstnih destrukcijskih oblikah, ki nastajajo s klimatsko pogojenimi površinskimi procesi, odsevajo v kraškem reliefu tudi značilnosti prenikanja vode in s tem povezane podzemeljske prevotljenosti. V določeni meri lahko torej iz kraških reliefnih oblik spoznamo značaj podzemeljskega pretakanja. Strukturni kraški relief sam po sebi ni dovolj zanesljiv pokazatelj drenažnega sistema, lahko pa z geomorfološkimi raziskavami dopolnimo izsledke geoloških in hidrogeoloških preučevanj.

S časom se namreč na kraškem površju uveljavijo razlike v prepustnosti. V bolj pretrtih in razpokanih delih kamnine voda hitreje odteka in pospešeno odnaša ter znižuje površje. V bolj prepustnih zakraselih conah nastajajo različne kraške brazde in globeli, v odpornejših kamninah pa se oblikujejo hrbti, kope in druge vzpetine. Po teh značilnostih smo doslej preučili zgradbene prvine matičnega Krasa (P.HABIČ, 1984) in Suhe krajine (P. HABIČ, 1988) pa tudi predel med Postojno in Planino (P. HABIČ, 1982). V teh delih zasnovano metodo geomorfološke analize kraškega reliefa smo uporabili tudi pri preučevanju Dolenjske in Bele krajine (P.HABIČ 1984a), še posebno pa pri opredeljevanju zaledja Dobličice. V kraškem reliefu se dobro ohranijo oblike, ki so nastale z mladimi tektonskimi premiki, dviganji ali grezanji. To je še posebej značilno za tektonsko tako razgibano pokrajino, kakršna je nizka Bela krajina z visokim obrobjem. Tektonski premiki ustvarjajo v zakraselih kamninah tudi nove hidrogeološke razmere in pomembno vplivajo na organizacijo podzemeljskega pretakanja (P.HABIČ, 1981).

### **Tektonsko kraški relief med Krko in Kolpo**

Med zgornjo Krko in Kolpo je v višinah med 200 in 1000 m razgibano kraško površje, ki ga po morfoloških značilnostih delimo v manjše strukturne enote (Pril. 3). Razporejene so ob vzdolžnih dinarskih in prečnih prelomnih conah. Pomebna morfološka meja na vzhodni strani poteka ob žužemberškem prelomu ob zgornji Krki, ki se nadaljuje po Črmošnjjski dolini do Vrčic. Njegovo nadaljevanje v dobličko podolje ob zahodnem robu nizke Bele krajine geološko ni povsem jasno.

Druga taka prelomna cona poteka na zahodni strani po ribniško kočevskem podolju ob znanem želimejskem prelomu. Vmes sta dva vzdolžna višja hrbta, vzhodni se iz nižje Suhe krajine nadaljuje čez visoki Kočevski Rog (1099m) v Poljansko goro, zahodni pa se iz Ribniške Male gore nadaljuje v Kočevski Mali gori.

Med obema hrbtoma se iz Dobropolja prek Strug vriva pas nižjega sveta, ki ga v osrednjem najvišjem delu predstavlja rajhenavsko koprivniško podolje. To se proti jugovzhodu nadaljuje v Poljansko dolino in ob Kolpi do Severina. V prečni smeri je vzhodni hrbet razčlenjen v tri majhne strukturne enote, kot so že omenjene Suha krajina, Kočevski Rog in Poljanska gora. Z vzdolžnimi in prečnimi ter lečasto povitimi manjšimi prelomi pa so omenjeni hrbti razčlenjeni še v manjše strukturne enote, ki so bodisi poglobljene v kraške dole in uvale, ali pa razčlenjene v grmadaste in kopaste vzpetine. Vse strukturne reliefne enote so omejene s strmimi kraškimi rebrmi. Te so povečini nastale ob robovih tektonsko različno premaknjenih blokov. Prečno je razlomljen tudi ožji hrbet Male gore, ki je najvišje dvignjen v sosedstvu Kočevskega Roga, najbolj znižan pa v pretržju vzhodno od Kočevja in pri Spodnjem Logu ob Kolpi. Južno od Kolpe je na razvodju z Dobro spet nekoliko višji.

Ribniško kočevsko podolje je v nasprotju z dvignjenimi hrbti na obeh straneh presenetljivo ravno (A. KRANJC, 1972). Široki kraški ravnik s številnimi vrtačami je v vzdolžni smeri komaj opazno vegast. Nekoliko se ravnik vzpenja južno od Kočevja v Šahnu, pri Mozlju in v Spodnjem Logu. Nizki škortenski griči med Šahnom in moravsko goteniškim podoljem dokazujejo, da so bili tektonski premiki strukturnih enot izdatnejši od korozijsko denudacijskega zniževanja. Lečasti podolgovati hrbti in vmesni doli so različno veliki, v splošnem pa se drobijo in zmanjšujejo h Kolpi in še onkraj nje. Os najvišje dvignjenih hrbtov poteka od Gorjancev čez Rog, Kočevsko Malo in Veliko goro, v Goteniško goro. Po tem dvignjenem hrbtu naj bi potekala široka kraška razvodna cona med Krko in Kolpo, ki jo je mogoče dokazati le s sledilnimi poskusi.

### **Žužemberško, črmošnjjsko in dobličko podolje**

Dolina Krke je od izvira navzdol do Soteske pri Dolenjskih Toplicah zarezana v tektonskem jarku ob žužemberškem prelomu. Morfološki pregled v drobnem je pokazal, da je bilo območje tektonsko nemirno ves čas vrezovanja Krke. Ta se je zarezala v dvigajoče se planote Roga ter zahodne Suhe krajine na eni in ajdovske planote ter vzhodne



Suhe krajine na drugi strani (P.HABIČ, 1988). Tektonsko sta zastajala bloka južno in vzhodno od kolena Krke pri Soteski. Na vzhodnem zastajajočem bloku ob vznožju ajdovske planote pri Straži se je oblikovala trikotna zaloška kotlina, ki je zasuta s kvarternimi rečnimi naplavinami (M. ŠIFRER, 1969; U. PREMRU, 1976). Ujeti meandri Krke pri Novem mestu nam dokazujejo, da se je blok med Prečno in Bršljinom hitreje dvigal. Ob njem so razporejeni izviri Prečne v Luknji.

Relativno tektonsko zastajanje je značilno za tektonski jarek južno od kolena Krke pri Soteski. Žužemberška prelomna cona se od Soteske nadaljuje proti Semiču in je na zahodni strani omejena s strmo črmošnjiško rebrijo Roga(5), na vzhodni strani pa jo omejuje dolina Sušice in ljubensko uršnoselska reber(4), ki je južno od Rožnega dola odrezana s prečno semiško rebrijo(6). Nekakšna tektonska leča med Črmošnjiško in Sušiško dolino je zastala in je bolj pogreznjena v severozahodnem delu pri Dolenjskih Toplicah (Loško polje 170m, Cvinger 262m). Proti jugovzhodu pa je stopnjasto dvignjena, najprej v Riglju (420m), nato še više v Vimolu (755m).

Bolj pogreznjeni del pri Soteski (170m) je tudi hidrogeološko pomemben. Tja do Podturna so razvrščeni kraški izviri: Crkavnik, ki se izliva v Krko, dalje presihajoča Suhorščica, nato stalna Obrh in Radešica. Črmošnjica kot pritok Radešice izvira ob višji vodi v Ušprunku pri Kočevskih Poljanah, sicer pa priteka izpod Mirne gore in iz Srednje vasi ter ponika pri Starih Žagah in le ob najvišjih vodah priteče do Radešice. Dolomit v povirju Črmošnjice je odločilen za vzdrževanje studencev pri Srednji vasi in Mašlju. Delno so zajeti za oskrbo, del teh voda pa poganja malo elektrarno pri Občicah.

Podobno kot Črmošnjica se izgublja v strugi tudi Sušica na drugi strani tektonske leče in le ob visokih vodah priteče do Dolenjskih Toplic, sicer pa presahne že pri izviru pod Dobindolom. Njeno prvotno povirje je bilo na območju Rožnega dola, kjer je kasneje s kraškim poglobljanjem nastala 500 m široka, prek 1000 m dolga in skoraj 100 m globoka kotanja. Ob stiku pretrtega triasnega dolomita in jurskih apnencev se je izoblikovala uvali podobna kraška globel s tremi ločenimi ponikalnicami, Rožnodolskim potokom, Brezovskim potokom in Bajerjem. Njihova podzemeljska usmerjenost še ni pojasnjena, domnevamo pa, da odtekajo te vode podzemeljsko v Krupo.

Dolomit v povirju Črmošnjice hrani studence pod Mirno goro: pri Črmošnjicah, v Srednji vasi, pri Brezju in Blatniku, kjer je razvodje med Krko in Kolpo. Rečica pod Brezjem in Blatnikom ponika pri Vrčicah in odteka v Krupo, kot je pokazalo barvanje.

V zakraselem hrbtu Radohe, v zahodnem delu Gorjancev, je še ne dovolj pojasnjeno podzemeljsko kraško razvodje med Krko in Krupo. Hidrološko je vsekakor pomembna razmeroma nizka lega Krupe (35m), h kateri se lahko podzemeljsko odcejajo vode iz celotnega severnega in severovzhodnega dela Bele krajine. Hidrogeološki položaj tega izvira še ni v celoti pojasnjen. nekateri domnevajo, da se topliški prelom nadaljuje mimo Semiča na Krupo in dalje v ribniško podolje (I. GAMS, 1961). S poimenovanjem prelomov in naravnih enot je nekaj težav, ki jih omenja tudi U. PREMRU (1982). Tako uvršča k grudi Poljanske gore ozemlje med žužemberškim in novomeškim prelomom, kasneje pa je to ozemlje prištel k topliškemu narivu, samo Poljansko goro pa k ortneškemu narivu.

Morda je za Krupo pomembna tudi s topliškim prelomom vzporedna sinklinala, ki naj bi vplivala na stekanje podzemeljskih voda v osrčje Bele krajine. Osrednje hidrografske vozlišče Belokrajnske kotline omejuje 200 m izohipsa. Tja se stekajo Kolpa, Lahinja, Metliški Obrh in Sušica, več kraških izvirov pa je tudi ob sami Kolpi (I.GAMS, 1961; D. PLUT, 1988) in to na obeh straneh. Tam z desne strani priteka vanjo tudi Ribniški potok.

Belokrajnsko kotlino zapira na vzhodni strani hrbet, ki se z osrednjih Gorjancev (Sv. Gera 1178 m) v loku nadaljuje čez Vodeniške hribe. Prekinja ga pogreznjeno podolje Ribnika, ob njem pa se dviga Lipnik, ki prehaja v Bukovje. Kolpa ga prereže v zoženi dolini med Metliko in Ozljem ter med Adlešiči in Marin dolom, kjer v ostrem kolenu zavije proti Belokranjski kotlini. Po morfoloških znakih sklepamo, da se je njen tok prvotno nadaljeval proti vzhodu v Karlovško kotlino, vzporedno z Dobro. Morfološka in hidrografska problematika Bele krajine je bila doslej osvetljena bolj z erozijsko korozijskega (I. GAMS, 1961) kot pa s tektonskega vidika (A. MELIK, 1959,484).

Hipsografske značilnosti ozemlja med Novomeško in Belokrajnsko kotlino je mogoče razložiti s tektonskimi premiki posameznih blokov. Podobno velja tudi za reliefne značilnosti zahodnega obrobja Bele krajine, za Poljansko goro in Poljansko dolino, za Kočevski Rog in Kočevsko Malo goro, pa tudi za hrbte ob Kolpi med Kostelom in Vinico (N. KREBS, 1929, E. LEHMANN, 1933, I. SIMONIČ, 1939). Kraško površje je tam podobno razčlenjeno z mlado tektonsko dinamiko, ki se lepše kot v sami geološki zgradbi kaže v kraškem reliefu.

Površje v višinah med 200 in 400 m (Pril.1.) se iz obrobja Belokrajnske kotline zajeda le v ozkem pasu v kanjonu Kolpe do Starega trga in v spodnjem delu Poljanske doline. Nasprotno pa je površje v teh višinah od Soteske navzgor bolj na široko zajedeno v Suho krajino in ob zgornji Krki. Kraško površje med 400 in 600 m je v zahodnih Gorjancih razmeroma ozko, na široko pa se razteza iz Suhe krajine na Kočevsko in Ribniško polje, v goteniško moravsko podolje in od tam navzdol proti Kolpi. Višine med 600 in 800 m zavzemajo največje površine v celotnem bloku Kočevskega Roga, medtem ko drugod bolj spremljajo podolgovate višje hrbte. Podobno velja tudi za višine med 800 in 1000 m. Razen v osrednjih Gorjancih so izrazitejše v Rogu, še bolj pa prevladajo na Goteniški gori in Potočanskem višavju. Na obrobju Roga jim pripadajo le najvišja slemena Poljanske in Loške gore.

Podoben značaj najvišjih slemen ima tudi površje v višinah nad 1000 m, ki ga vse od Gorjancev prek Roga do Kočevske Velike gore sledimo le po najvišjih hrbtih, samo na Goteniški gori in okrog Loškega Potoka mu pripada nekaj več sklenjenega površja.

### **Kočevski Rog**

Vzdolžne rebri Kočevskega Roga so precej premočrtne, a prečne bolj razčlenjene. To je najbrž posledica povijanja vzdolžnih prelomov iz jugovzhodne v jugjugovzhodno smer. Ta zasuk se kaže prav na prehodu Suhe krajine v Rog ob sestavljeni in stopnjasti

smuški rebri(9), imenovani po kraju Smuka med Starim Logom in Laščami.

V celotnem Rogu med koprivniškim in črmošnjiškim podoljem ločimo grmadaste hrbte na vzhodni strani od najvišje Pečke (910m) in Rdečega kamna ter Kunča, prek Pogorelca (826m) in še nižje Podsteniške planote z najvišjim Taborjem (770m) na zahodni ter Sokolskim vrhom (711m) nad Bazo 20 na vzhodni strani. Pod Bukovo gorico (822m) je širok ravnik v višini 700 m, ki nato prehaja v visoko grmado Mirne gore (1047m). V tem delu je nekaj globljih uval od Podstenic, Jelendola, Cinka, Smrečnika in Ribnika nad Komarno vasjo do Ponikev na Mirni gori ter Golobinjeka ob vznožju Kope (1077m) in Krogliška (1054m) že na prehodu Roga v Poljansko goro.

Zahodni hrbet Kočevskega Roga je ožji in nekaj višji. V severnem delu se nad trnovsko rebrijo (10) in polico v višini med 700 in 750 m dviga sam Kočevski Rog (1099m). Južno od njega je okrog 100 m nižja planota Rajhenavskega Roga (985 m), ki dalje prehaja v Brezovo goro (1009) in Kopo (1077m). Na planotastih policah ob najvišjih hrbtih so redke uvale in suhi doli, ki vise proti Črmošnjiški dolini (A. MELIK, 1959,465). Kopasti vrhovi so značilno razporejeni (P. HABIČ, 1981) in so najbrž nastali na nižji široki uravnavi s korozijsko denudacijskim razčlenjevanjem. Razpored strmih rebri pa se sklada z grudasto razlomljenostjo osrednjega, najvišje dvignjenega bloka. Suhe doline, ki jih omenja I. GAMS (1961), so po našem mnenju nastale bolj z denudacijsko korozijskim preoblikovanjem kot s predkraškimi rečnimi tokovi.

### Koprivniško podolje

Na zahodni strani je Kočevski Rog omejen z izrazito rebrijo (10,11), ob njenem vznožju pa je pas nižjega sveta, ki se vriva med Rog in Kočevsko Malo goro. Po zgradbi lahko to podolje primerjamo z dobrepoljsko struškim dolom na vzhodni strani Ribniške Male gore (I. GAMS, 1961,206). Zveza med obema podoljema pa je v nizkem pretržju med Ribniško in Kočevsko Malo goro zabrisana. Nekako prečno v podolje med Rogom in Malo goro se tam vriva hrbet Starega Brega in Grintovca, kjer so na površju mlade eocenske nepropustne plasti. Z njih odtekaajo površinske vode delno proti jugu, delno proti severu. Južno od tega prečnega Starega Brega pa se ob Somovi gori (816 m) že začenja vzhodna reber Kočevske Male gore, ki se ob rajhenavsko koprivniškem dolu nadaljuje mimo Nemške Loke in Brezovice v vzhodno reber Loške gore in sega do Kolpe. Med Rajhenavom in Koprivnikom je podolje najvišje dvignjeno, s prevala v višini okrog 750m pa visi na obe strani.

Po nagnjenosti površja bi sklepali, da je bil sprva tudi površinski odtok usmerjen na obe strani. Kasneje se je v podolju uveljavilo lokalno kraško poglobljanje, nastali sta uvali pri Koprivniku in Nemški Loki. Reliefna stopnja pri Brezovici na prehodu v Poljansko dolino pa je po vsej verjetnosti tektonski prag. Podoben prag se kaže tudi v prečni rebri nad Nemško Loko in nad Koprivnikom.

Koprivnik je denudacijsko in kraško poglobljen v dolu, ki visi proti Kolpi. Na jugozahodni strani je omejen s strmo nerazčlenjeno rebrijo, severovzhodna reber pa je stop-

njasta in razrezana z grapami. Po njih so vode, ki izvirajo v majhnih studencih sredi rebri, nasule v dno pretežno dolomitni drobir. Na njem je nastala v višini med 615 in 630m rodovitna ravnica s polji in travniki Koprivnika. Na več krajih so v naplavini izoblikovane požiralne rupe, v katerih ponikajo površinski potoki, če se že prej ne izgube v lastni naplavini.

Uvala pri Nemški Loki je podobnega nastanka kot pri Koprivniku, je nekaj manjša z nasutim dnem v višini med 460 in 480 m. Drobir so nasule občasne površinske vode iz drobljene prelomne cone v severozahodnem kotu. Ob isti prelomni coni so zarezane tudi grape pod Brezovico in Vimolom, ki se občasno odceja po plitvi dolini in ponikajo ob cesti med Brezovico in Predgradom v dnu Poljanske doline.

### **Kočevska Mala gora**

Prečne tektonske stopnje so izražene tudi v reliefu Kočevske Male gore. V severnem delu se ob njih hrbet postopno dviga iz ravnika pri nekdanji vasi Mala Gora, proti jugu pa se stopnjasto znižuje h Kolpi. Strukturne poteze so v severnem delu z uravnavo nekako zabrisane, bolj do veljave pa pridejo v osrednjem višjem delu. Podolgovat, usločen hrbet je z obeh strani omejen s strmo rebrijo. V nasprotju z Ribniško Malo goro pa je nekaj širši in po dolgem prelomljen, kar se kaže v zajedi med Somovo goro (816m) in Koflom (882m) ter med Starim Brezjem in Gričem (953m). V tej prelomni coni je pri Lazah nad Onekom izoblikovana podolgovata uvala, južneje pa stopnjasta polica s Svetlim potokom in Studenim.

Posebna strukturna, morfološka in hidrogeološka enota ob južnem vznožju Kočevske Male gore je nizek prečni hrbet Šibje med Mozljem in Knežjo Lipo. Hrbet je zgrajen iz nepropustnih skrilavcev ter kremenovih peščenjakov in konglomeratov permske starosti. Z njih se površinske vode v številnih kratkih ponikalnicah odteka proti severu in jugu, kjer ponikajo v komaj zaznavnih slepih dolinah v jurskih apnencih.

Južno od preloma ali nariva, ob katerem se pojavljajo kremenovi peščenjaki, se v kočevskem podolju dvigajo iz kraškega ravnika nizki podolgovati hrbti, ki nakazujejo posebno morfološko enoto med Loško goro (860m) in Škortnom (754m) ob vznožju Kočevske Velike gore. Potrebno pa je opozoriti na značilno višinsko razliko, domnevno tektonskega porekla, med ravnikom Poljanske doline (400 m) in Spodnjim Logom (500m), kot tudi med Spodnjim Logom in moravsko goteniškim podoljem (550m) zahodno od Škortna. S sledilnimi poskusi je ugotovljeno, da se vsak vzdolžni del ravnika po svoje odceja v Kolpo. Kočevska Reka v Kotnico, Rinža iz Kočevja v Bilpo, vode iz koprivniškega dola in Poljanske doline pa v Dolski potok. Domnevamo, da so ponikalnice z južnega obrobja Šibja usmerjene v šumetac ob Kolpi. Z barvanjem je dokazano, da vode s severne strani nepropustnega Šibja odteka v Krko, kar se sklada z nepropustno naravno podlago.

Po dosedanjih raziskavah sklepamo, da poteka razvodje med Krko in Kolpo po nizkem podolju od Kočevja proti Mozlju. Krki pripada pretežni del Kočevskega Roga in

Male gore. Računati pa moramo tudi s široko bifurkacijsko kraško cono, ki jo nakazuje raztekanje voda iz Ponikev na Mirni gori v Radešico in v Krupo. Razen posebne hidrogeološke pregrade v podlagi Male gore, ki izdanja s kremenovimi peščenjaki med Mozljem in Knežjo Lipo ter usmerja del podzemeljskih voda iz nizkega kočevskega podolja proti severu, nakazuje smer podzemeljskega odtoka splošna nagnjenost kraškega reliefa po posameznih strukturnih enotah, ki smo jih prav v ta namen nekoliko podrobneje predstavili v tem poglavju.

### **Relief Mirne in Poljanske gore v ožjem zaledju Dobličice**

Poleg drobne kraške razčlenjenosti so v površju Mirne in Poljanske gore izražene nekatere posledice tektonskega dviganja in grezanja na zahodnem obrobju Bele krajine. Vsaka strukturna enota pa je tudi po svoje preoblikovana z razpadanjem in drobljenjem kamnine ter s površinskimi denudacijskimi procesi.

Najvišja morfološka enota v obravnavanem predelu obsega Kopo (1077m) in Mirno goro (1047m). Posamezni vrhovi segajo v višine nad 1000 m, sklenjeno grmado pa obrobja izohipsa 800m. Nad to višino je tudi dinarsko usmerjeno široko podolje, ki se nekako od Ribnika nadaljuje do Sredgore in loči hrbet Kope od Mirne gore. Po reliefnih oblikah sklepamo, da so bile manjše zgradbene enote premaknjene vsaj v treh tektonskih stopnjah.

Celotna grmada Kope z uvalo Golobinjek in Mirno goro je na vzhodni in zahodni strani omejena s 300 do 400 m visoko rebrijo. Proti severozahodu se planota postopoma zniža proti osrednjemu Rogu, kjer prevladujejo višine med 600 in 700m, proti jugovzhodu pa se v neizrazitih policah znižuje do belokrajnskega ravnika v višinah okrog 200m.

Osrednji hrbet se s Kope (1077m) postopno spušča proti jugovzhodu prek Ovčjaka (852m) in Toplega vrha, Bistrice in Dobličke Gore do Doblič. Na zahodni strani je med osrednjim hrbtom in koprivniškim podoljem strukturna enota Bukove gore z najvišjim Mačjim hribom (836m). Na vzhodni strani se hrbet Mirne gore spušča mimo Planine, Zajčjega hriba (681m), Vinske gore in Rodin do Otovca. Izpod Sredgore visi proti Naklem širok žleb, ki med Talčjim Vrhom in Jelševnikom prehaja v dolino Talačkega in Jelševniškega potoka. V zatrepu tega žleba pod Planino je prečni dol med Topličicami in Lahinjo, očitno zasnovan na pomembnejši prelomni coni. Zahodno od tega žleba je ovalni hrbet nagnjen proti Mavrlenu in Dobličam, podobno kot oni pri Toplem vrhu. Vmes je manjši žleb, ki visi od Gradca proti jugovzhodu, podobno kot drugi onkraj Tolstega vrha proti Bistrici. Enako je usmerjena tudi Mrzla draga k Miklarjem, le da je kraško poglobljena v podolgovato uvalo. Hkrati predstavlja najglobljo vrzel med Kopo ter osrednjo Poljansko goro.

Najvišji hrbet 8 km dolge Poljanske gore je na zahodni strani omejen s strmo, 400 m visoko poljansko rebrijo (11), ki sega do ravnika Poljanske doline pri Podgori. Na vzhodni strani Židovca (847m) in Debele gore (866m) sega strma miklarska reber le do police južno od Bistrice v višini okrog 650 m, navzdol pa sledi dobre 3 km široko položnejše

pobočje, nekakšen pediment, tja do Tanče Gore in dobličke rebri (8b). Doblička kotlina s kanižarsko pliocensko kadunjo predstavlja najbolj pogreznjen blok ob vznožju Poljanske gore. Ob njenem robu so razporejeni izviri med Sihurno in Jelševnikom na severu ter Nerajcem na jugu, v osredju pa so izviri Dobličice, Podturnščice in Obrščice.

V morfološkem in verjetno tudi v hidrografskem pogledu je v Poljanski gori pomembna reliefna zarez Tratovnika med Tančo goro in zatrepom poljanskega ravnika vzhodno od Starega trga. Zasnovana je ob transverzalnem prelomu Semič - Radenci. Na tej strukturni meji je najbrž tudi kraško razvodje med Dobličico in Podturnščico. Morfološko se strukturna enota Kolečaja v zaledju Podturnščice razlikuje od Židovca v zaledju Dobličice. Osrednji hrbet med Glavico (709m) in Kolečajem (691m) je širši, jugozahodna reber je nižja za okrog 200 m, na severovzhodni strani pa je manjša strukturna polica pri Zapudju nad izviri Podturnščice in Obrščice. Te značilnosti so, kot vse kaže, povezane z različnimi tektonskimi premiki posameznih enot.

Proti jugovzhodu prehaja Poljanska gora v še nižje planotasto površje, ki se začenja ob žlebu na vznožju Okrožnika (813m) in nadaljuje z Vušcem (616m), Kolečajem (691m) ter Zglavnikom (664m). Južno od tega vrha je hrbet spet nekako preščipnjen z žlebom, ki visi na severni strani proti Snegopaju in Suhorju, na južni strani pa proti Špeharjem. Na tej prečni zarezi je domnevna razvodna cona med zaledjem Nerajčice in izviri ob Kolpi. Hrbet Poljanske gore se proti Kolpi zniža v nekaj stopnjah, vanje pa so zarežane nekakšne zatrepne police pri Sinjem vrhu in Dalnjih Njivah ter v nižji Dameljski Dragi.

Če širše primerjamo reliefne značilnosti in usmerjenost slemen ter podolij od ribniško-kočevskega do zornjekrškega in črmošnjiškega, lahko ugotovimo značilen zavoj podolij ob vzhodnem obrobju Kočevskega Roga, ki se nekako sklada z zavojem rajhenavsko koprivniškega podolja na zahodni strani Roga. Mirna gora je kot dvignjen blok nekako na vzhodnem voglu. V njej dominirajo dinarske smeri, na južni strani pa je odrezana s prečnimi prelomi balatonske smeri. Ob njih se triasne in jurske kamnine stikajo s krednimi, tako se morfološke poteze skladajo z geološko zgradbo. Med Mirno goro in dobličko kotlino je v reliefu in zgradbi izražen stopnjast prehod z visoke planote Roga v nizko Belo krajino.

### **Semiška reber**

V severnem obrobju Bele krajine je semiška reber (6) najbolj izrazita strukturna reliefna meja, saj predstavlja strm prehod iz nizkega uravnanega površja v višinah okrog 200 m v kraški hrbet Radohe. Ob vznožju semiške rebri je črnomaljski ravnik še dodatno nekoliko znižan, kar pripisujemo predvsem izdatnejšemu korozijskemu poglobljanju pod vplivom spiranja in naplavljanja drobirja s strmega brega. Semiška reber je premočrtna od Kota do Štrekljevca in Osojnika. Dalje proti vzhodu mimo Brezove Rebri do Sel in Jugorja pa je nekoliko zamaknjena proti severu, kar pomeni, da je izoblikovana v tem delu ob vzporednem prelomu, ki se izgublja v rebri pod Peščenkom (846m), ob drugem kraku tega razcepljenega preloma pa je izoblikovan podolgovat Malenski dol severno od

Brezove Rebri. Pri Jugorju prehaja selska reber v žleb Vahte in ob njem se dviga samostojen blok Lipovca, ki prehaja v najvišji osrednji del Gorjancev. Ob vznožju semiške rebri ni kraških izvirov. Vode se tudi iz višjega zaledja verjetno odtekaajo v Krupo.

### **Ručetna reber**

V Kotu pri Semiču zavije strma reber proti jugu in je precej sklenjena do Otovca. Imenujemo jo ručetno reber (8a) in ob njenem vznožju je izoblikovano pačko podolje. Strma reber prehaja iz polic v višinah med 240 m pri Starihovem vrhu, in 200 m pri Črnomlju v planotasto površje v višinah nad 500 in 600m. Nižjo polico predstavlja Mlačevec z Vinsko goro (540m) nad Rodinami, višjo pa Kleč (679m), Zajčji vrh (681 m) in Planina (763m) pod Mirno goro (1047m). Ručetna reber je pri Petrovi vasi prelomljena in nekoliko zahodno zamaknjena. Nad tem zamikom pa je pod Konjskim hribom izoblikovan strukturni zatrepni žleb. Ob vznožju ručetne rebri so občasni izviri Pačkega potočka, sicer pa vode iz njenega zaledja odtekaajo v Krupo in v Dobljčico.

### **Dobljčka reber**

Od Naklega nad Otovcem prek Rožič Vrh in Stražnjega Vrh, mimo Mavrlena in Dobljčke Gore do Griča nad Dobljčami je strma, vendar z vinogradi bogato obrasla in na gosto z zidancami posejana dobljčka reber (8b), ki je še nekoliko bolj umaknjena proti zahodu kot njena severna sosedna ručetna reber. Dobljčka reber morfološko ni povsem enotna. Med Naklom in Jelševnikom je razdeljena s polico v višini med 280 do 290 m, različno pa je tudi njeno vznožje ob Tuševem Dolu ter med Zajčjim in Snečim Vrhom, kjer so ohranjene vegaste kraške police v višini okrog 180m. Med Jelševnikom in Dobljčami ter Jernejo vasjo v rebri ni nobene police, premočrtno sega od roba v višini okrog 400 m do nizkega ravnika dobljčke kotline v višini okrog 150 do 160 m.

Med Gričem in Tančo Goro (253m) obrne dobljčka reber proti jugovzhodu in prehaja onkraj tratovniškega žleba ob prelomu Semič - Radenci v zapudsko reber, ki ima nad Breznikom in Obrhom široko polico v višinah med 350 in 250 m. V bistvu je sestavljena iz dveh delov. Spodnji del nekako preide pri Suhorju v nižji starolipski ravnik, zgornji del pa se nadaljuje z bolj položno, le malo razčlenjeno kolečajsko rebrijo (8c) ob vzhodnem obrobju Poljanske gore. Ta preide ob Kolpi med Učakovci ter Damljem v nižji ravnik.

Podroben morfološki pregled obrobja Bele krajine nakazuje nekatere strukturne posebnosti, ki jih lahko koristno uporabimo pri pojasnjevanju razporeditve kraških izvirov in njihovega hidrološkega zaledja. Prelomljene in zamaknjene rebri nakazujejo mlade tektonske enote, ki se razlikujejo od starejših strukturnih enot prikazanih na osnovni geološki karti. Po morfoloških znakih tudi sodimo, da se žužemberški prelom nadaljuje iz Črmošnjiske doline mimo Dobljč proti Učakovcem. Topliški prelom pa je morfološko komaj izražen z grapo v strmi semiški rebri, povsem neizrazit pa je v nizki Beli krajini.

### **Dobličko - viniško podolje**

Po morfoloških in hidroloških značilnostih lahko nizki zahodni del Bele krajine razdelimo v pet enot: pački dol, kanižarsko sleme, dobličko in dragatuško kotlinico ter lipsko podolje ali viniški ravniki. Celotni pas znižanega sveta s pomembno hidrografsko funkcijo ob vznožju Poljanske gore bi strukturno lahko primerjali z črmošnjiško sušiško tektonsko lečo v žužemberški prelomni coni. V strukturnem pogledu je dobličko kanižarska tektonska leča neposredno nadaljevanje prelomne cone, ob kateri je izdatneje dvignjen zahodni del z Rogom in Poljansko goro, manj pa vzhodni del v območju Bele krajine. Po legi pliocenskih plasti pri Kanižarici in reliefnih značilnostih dobličke kotlinice je očitno, da gre tu za nekakšen ozek in proti sredini upognjen tektonski jarek, kamor so usmerjene kraške vode iz celotnega obrobja in se združene pri Črnomlju površinsko prelijejo v osrednjo Belokrajnsko kotlino (Pril. 4).

#### **Pački dol**

Ob vznožju ručetne rebri je od semiškega Kota proti jugu poglobljena plitva suha dolina, ki med Otovcem in Dolenjo Pako preide s suhim pačkim žlebom v dolino Talaškega oziroma Paškega potoka, pritoka Dobličice. V zgornjem delu med Ručetno in Miheljo vasjo ter Rožancem je suha dolina komaj izražena. Nizko, vegasto kraško površje je na debelo prekrito z rdečerjavo ilovico. Pri Rožancu je ob cesti vodokazno brezno ali kraško okence, imenovano Stobe ali Stovba. Ob najvišjih vodah se tam iz podzemlja prelije na površje kraška voda. Do nje pridemo lahko tudi nekaj sto metrov južneje v Zdencu pri Otovcu, končno pa se prelija na površje v izviru Paškega Brežička. Z obarvanjem Zdenca pri Otovcu, poleti 1990, smo spoznali, da se v studence pri Svibniku stekajo tudi tiske kraške vode iz paškega dola, ki se ne prelivajo v površinski Pački oziroma Talački potok.

Pački potok izgublja vodo v strugi že izpod Zajčjega Vrha in tako se ob nizkih vodah struga povsem posuši od mosta pred Svibnikom do Dobličice. Vode Paškega potoka podzemeljsko dosežejo Dobličico v Šprajcarjevem studencu pri Okljuku. Prelomna cona med Kotom in Črnomljem ima potemtakem svoj drenažni sistem, ki ga verjetno omejuje prelomna ploskev ob vznožju ručetne in dobličke rebri na eni ter lokevske in butorajske rebri (7) na drugi strani.

Na obeh straneh doline in suhega paškega dola so ohranjene vegaste kraške police v višinah med 180 in 210 m. Nadaljujejo se tudi južno od Črnomlja, pri Blatniku in v hrbtih okrog Kanižarice. Pri Črnomlju se je v to površje zajedla v številnih okljukih Dobličica. Ob vznožju dobličke rebri je njena struga poglobljena v nizko, kraško nekaj manj razčlenjeno, zato pa še bolj na debelo z ilovico prekrito polico v višinah med 150 in 170 m. Med Jelševnikom in Tuševim Dolom je reliefna vrzel, po kateri bi nekdanj lahko tekla Talački potok od Sihurne naravnost proti jugu. Hitrejša poglobljanje paškega dola pa je omogočilo pretočitev Talaškega potoka v Paškega. Razlike v tektonskem premikanju so



najbrž prispevale tudi k izoblikovanju ozkega pačkega žleba med Otovcem in Dolenjo Pako, v zastajajočem bloku med Otovcem in Kotom pa se je ohranilo širše podolje.

### **Doblička kotlinica**

Med Jelševnikom, Dobličami in Jernejo vasjo je ob vznožju premočrtne dobličke rebri nizek vegast kraški ravnik, dolg tri in širok dober kilometer, ki je po po osnovnih potezah podoben površju črnomaljskega ravnika. Zaradi posebnega hidrološkega in tektonskega položaja se morfološko od njega razlikuje. Nizka polica pri Dragovanji vasi in Kvasici loči dobličko kotlinico od dragatuške. Na severni strani jo omejuje polica v višini med 180 in 190 m nad Jelševnikom. Med Snečim Vrhom in Blatnikom pa se Dobličica, ki teče nekako po sredi kotlinice od juga proti severu, prebije skozi ozko dolino proti Kanižarici in dalje v značilnih okljukih proti Črnomlju, naprej pa skupaj z Lahinjo v osrednjo Belokrajnsko kotlino. Morfološke oblike v dnu in na obrobju dobličke kotlinice kažejo, da njena poglobitev ni le posledica večje namočenosti zaradi dotoka voda iz kraškega podzemlja, pač pa je globel in razporeditev kraških izvirov ob njej strukturno pogojena z zastajanjem bloka ob vznožju Dobličke gore. Po gladini kraške podtalnice v tem bloku in v izviri ob strugi med Jernejo vasjo, Blatnikom in Jelševnikom sklepamo, da so vode v zakraseli podlagi dobličke kotlinice le delno ločene od siceršnjega hidrogeološkega zaledja Dobličice. S tem je treba računati pri morebitnem trajnejšem umetnem znižanju gladine v izviru Dobličice.

### **Kanižarsko sleme**

V nepropustnih pliocenskih sedimentih kanižarske kadunje je izoblikovano nizko sleme z višinami med 196 m v Kegljem hribu in 212 m v Belem hribu. Z osrednjega slemena so na vse strani usmerjene plitve grape, po katerih odteka površinske vode na sever v Dobličico, na vzhod v Lahinjo, ki si je poglobila svojo kanjonsko dolino prav ob stiku pliocenskih naplavin in krednih apnencev. Proti jugu odteka površinske vode v Podturnščico in z njo v Lahinjo. Le proti zahodu v dobličko kotlinico je odtok s kanižarskega slemena obglavljen s Selškim in Kanižarskim potokom. Vode z blatniško jernejskega slemena pa poniknejo predno dosežejo Dobličico. Njihov prvotni površinski odtok proti zahodu nakazujejo suhe dolinke, usmerjene k Dobličici, kjer so ob strugi tudi manjši kraški izviri.

Zakrasela sta tudi dva potoka severno od Kegljega hriba, ki ponikata pri Kočevju in podzemeljsko dosežeta Dobličico. Ob ponoru sta nastali slepi dolini. V večji pri Gadini je dostopna zanimiva vodna jama, ki je hidrološko povezana s studencem pri Kočevju. V osrednji hrbet Belega hriba se je z vzhodne strani najgloblje zajedel Križanji potok, ki se južno od Črnomlja vlija v Lahinjo. Odtok proti jugu je povezan z oblikovanjem doline Podturnščice v dragatuški kotlinici. Hidrogeološke značilnosti pliocenske kanižarske kadunje niso bile predmet naših preučevanj. Znano pa je, da se v kanižarskem premogovniku pojavljajo vodni udori iz zakraselega obrobja.

### **Dragatuška kotlina**

Razmeroma široka dolina Podturnščice in nizke police ob njej okrog Dragatuša v višinah med 160 in 170 m ter premočrtna reber med Tančo Goro in Zapudjem nakazujejo podobno zasnovo kotline na zastajajočem bloku kot pri Dobljčah. Dragatuška kotlina je na vzhodni strani omejena z butorajsko rebrijo (7), ob kateri je zarezana kanjonska struga Lahinje. Ujeti meandri pri Butoraju so verjetno nastali na zastajajočem dragatuškem bloku pred dvigajočim se kanižarskim. Vzhodni del je morfološko bolj razgiban, kar si razlagamo s strukturnimi razlikami v podlagi Dragatuške kotlinice. Široka dolina Podturnščice se zoži med Golekom in Podlogom, kjer seka južni podaljšek kanižarskega slemena. Ožja in zavita dolina Nerajčice in Male Lahinje sta poglobljeni v prvotno enoten ravnik, drugačna reliefna razčlenjenost v primerjavi z dolino Podturnščice pa je očitno strukturno pogojena. Suha dolina južno od Velike Lahinje nakazuje tudi izdatnejše zakrasevanje v bolj dvignjeni strukturni enoti vzhodno od butorajske rebri. Ob butorajskem prelomu je znan med Šipkom in Pustim Gradcem topli izvir (17-19° C). Nekaj tople vode izvira v sami strugi Lahinje pri Klepčevem mlinu.

Široka poplavna ravnica ob meliorirani strugi Podturnščice predstavlja nasuto dno dragatuške kotlinice. Do 3 km dolga in 2 km široka dolina se proti jugovzhodu zoži v dober kilometer široko podolje med Nerajcem in Knežino ter Belčjim Vrhom, kjer sta kraška izvira Nerajčice in Lahinje. Nerajski Cernik (242m) se kot osamelec ali samostojen blok dviga na južnem obrobju dragatuške kotline. Po legi in višini ga lahko primerjamo s polico Tanče Gore (254m), vmesni del med Obrhom in Dragatušem pa naj bi bil pogreznjen.

Vzporedna polica ob vznožju kolečajske rebri(8c) visi od Plati (378m) prek Pustega Petra (311m) in Zapudja (252m) proti Gornjemu Suhorju (Vinji vrh 248m) in Novi Lipi (Vrbišče 244m). Brez dvoma so tudi te reliefne značilnosti povezane s tektonsko dinamično strukturnih enot na obrobju dragatuške kotlinice. Morfološko in hidrografske je zanimiv vmesni suhi dol Loke za Cernikom, kjer je dvoje kraških okenc ali estavel, Ljubešnica in Gradnica. Dol je izoblikovan ob prelomu med Zapudjem in Cernikom ob vznožju iste rebri, ob kateri sta izvira Podturnščice in Obrščice. Vhodno od njega je pri Suhorju dosegljiva kraška voda v okencih Suhorskega in Selškega brega. Po nihanju vode v teh estavelah sklepamo na lokalno zajezevanje kraških voda v strukturnih enotah tik pred izvirom Nerajčice. Na kraško podtalnico in njeno pretakanje v podolju med Nerajcem in Malo Lahinjo opozarjajo še druga okenca, v katerih je dosegljiva kraška voda. Takšna sta zlasti Ponik pri Djudu ali Zjotu, Glušenka ter Ušivec. Do kraške podtalnice so prišli tudi v kamnolomu pri Velikem Nerajcu. Del teh kraških voda odteka v izvir Stepanjec in v Krnico ob Nerajčici, sicer pa podzemeljske zveze še niso preverjene z barvanjem.

### **Lipsko podolje ali viniški ravnik**

Med Suhorjem in Vinico je 2 km širok in dobrih 10 km dolg kraški ravnik, ki se

dviga od izvirov Lahinje in Nerajčice proti Vinici, nekako od 170 do 200 m višine. Vanj je poglobljena plitva suha dolina od Drežnika mimo Nove in Stare Lipe proti Suhorju in Nerajcu. Na vzhodnem robu podolja je med Hrastjem in Vinico niz prečnih suhih in slepih dolin, ki so zarezane v podaljšek butorajske rebri ob zahodnem obrobju Bukovja. Na zahodni strani je lipsko podolje omejeno s stopnjasto razčlenjeno kolečajsko rebrijo. Z njo se znižuje tudi planotasto sleme Poljanske gore proti jugu od Tominca (661m), prek Krtice (567m), Kučerja (485m), Jelenčje glave (389m) do polic ob Kolpi v višinah med 210 in 230m.

Postopno zniževanje slemena Poljanske gore h Kolpi in obratna nagnjenost Lipskega podolja ter Bukovja stran od Kolpe k osrednji Belokrajnski kotlini lahko pojasnimo le z različno tektonsko dinamiko posameznih blokov. Ta je odločilno vplivala tudi na razpored in pretakanje vode v njih. Pretežni del lipskega podolja se torej podzemeljsko odceja v Lahinjo, manjši del pa v izvire ob Kolpi pri Vinici. Položaj razvodne cone s sledenjem še ni preverjen, zato tudi južno zaledje Lahinje hidrogeološko še ni določeno.

### OCENA MINIMALNE IZDATNOSTI IZVIROV IN VELIKOST NJIHOVEGA ZALEDJJA

Opazovanje vodostajev in hidrometrične meritve na izviri Dobličice, Jelševnika, Podturnščice, Obrščice in Nerajčice ter Lahinje je organiziral Vodnogospodarski inštitut (VGI). Nekaj podatkov je zbranih v njegovem poročilu za leto 1988. Opazovanja vodostajev v izviri Dolskega potoka in Bilpe je organiziral Inštitut za raziskovanje krasi, po dve meritvi pretokov pa so opravili sodelavci Hidrometeorološkega zavoda, ki so nam posredovali tudi pretoke za Rinžo, Radešico in Obrh.

Po končanem zajemanju vzorcev vode ob prvem kombiniranem sledilnem poskusu smo v sušnem obdobju 1988/89 še nadalje spremljali vodne razmere. S primerjavo izmerjenih pretokov smo skušali izračunati minimalne izdatnosti opazovanih izvirov, ki prihajajo vpoštev za oskrbo Bele krajine. Jesensko sušno obdobje leta 1988 se je podaljšalo v zimo in je trajalo skoraj do konca marca. Vmes je sicer padlo nekaj dežja, ki pa ni pomembneje napolnil podzemlja, tako da se je to praktično praznilo do 23.februarja 1989. Najnižje vodostaje in pretoke smo izmerili 22.februarja, dan pred dežjem. S primerjavo pretokov 10.januarja ter 3.februarja 1989 smo po metodi Mailleta:

$$\alpha = \frac{\log Q_o - \log Q_t}{0.4343 \times t}$$

izračunali koeficiente praznenja. Na podlagi povprečnega koeficienta praznenja  $\alpha = 9 \times 10^{-3}$  pa smo izračunali predvidene izdatnosti izvirov po 30 in po 60 dneh praznenja od začetka februarja. Izračunane vrednosti za 30 dnevno praznjenje se dobro skladajo z izmerjenimi pretoki 22.februarja. Tako so glede na izredno nizke vode v februarju 1989 računске vrednosti za 60 dnevno praznjenje kraškega podzemlja daleč najnižji pretoki, ki

bi se pojavili v izjemnih letnih sušah. Še nižje vrednosti bi se lahko pojavile le ob trajnejšem poletnem prazenju ob visokih dnevnih temperaturah, ko je tudi v kraškem podzemlju potrebno računati z izdatnim izhlapevanjem, o čemer pa nimamo zanesljivih podatkov. Minimalne izdatnosti izvirov je treba še naprej spremljati, saj so za najnižje pretoke odločilne predvsem poletne suše.

Tabela 9: UPADANJE PRETOKOV IN KOEFICIENTI PRAZNJENJA

Izvir	Q <sub>1</sub> l/s	Q <sub>2</sub> l/s	Q <sub>3</sub> l/s	a1	a2 x10 <sup>-3</sup>	a3	F km <sup>2</sup>
Dobličica	185	150	130	8,7	7,1	7,4	43,3
Jelševnik	55	40	30	13,3	14,4	13,8	10,0
Podturnščica	7	6	5	6,4	9,1	7,6	1,6
Obrščica	5	4	3	9,3	14,4	12,0	1,0
Nerajčica	37	30	25	8,7	9,1	8,9	8,3
Lahinja	45	35	30	10,5	7,7	9,2	10,0
Skupaj	334	265	223	9,6	8,6	9,2	74,2

Q1 - pretok 10.januarja 1989

Q2 - pretok 3.februarja 1989

Q3 - pretok 22.februarja 1989

F - izračunana površina zaledja izvira na podlagi  
predpostavljene minimalne specifične izdatnosti zaledja  
3 l/s/km<sup>2</sup>

Tabela 10: IZRAČUNANI NAJNIŽJI PRETOKI

Izvir	Q <sub>0</sub> l/s	Q <sub>30</sub> l/s	Q <sub>60</sub> l/s
Dobličica	150,0	114,5	87,0
Jelševnik	40,0	30,5	23,3
Nerajčica	30,0	23,0	17,5
Lahinja	35,0	26,7	20,4
Skupaj	255,0	194,7	148,2

### Meritev najnižjih pretokov

Natančno merjenje nizkih pretokov v kraških izviroh je možno le tam, kjer so pravilno urejeni stalni merski profili. Pri vsakem izviru pa specifični problemi ovirajo

meritve. Na izvire v nizkih legah vplivajo razne zaježitve v površinskih strugah, pri nekaterih izviroh se najnižje vode izgubljajo v prepustnih naplavinah in nevidno odtekaajo v bližnje površinske tokove. S takimi problemi smo se srečali tudi pri meritvah izdatnosti Dobličice in sosednjih izvirov. Zaradi tega se podatki o najnižjih izdatnostih po različnih virih precej razlikujejo.

Najnižji pretok Dobličice naj bi po podatkih VGI znašal v septembru 1987 le 30 l/s, upoštevan je le pretok po vodomeru pod mostom med Blatnikom in Dobličami. Toda k tej vrednosti moramo prišteti še črpane količine za črnomaljski vodovod, ki znašajo od 50 do 70 l/s.

Po podatkih VGI naj bi bil Jelševnik septembra 1987 nižji ( $H = 9\text{ cm}$ ) kot februarja 1989 ( $H = 10\text{ cm}$ ), vendar pretoki leta 1987 niso bili merjeni ob najnižjem vodostaju. Pri tem izviru se je pokazala še druga težava. Ob izviru so začeli graditi pregrado, ki ob polnjenju pomebno zniža pretoke v merskem profilu. Ker pa se gladina pri zaprti zapornici dvigne za dobrega pol metra, seže zaježitev tudi v podzemlje. Njen učinek na vodne razmere v sosednjih izviroh ni znan. Od drugod so znani primeri, da umetne zaježitve na enem kraškem izviru vplivajo na vodne razmere v drugih, tudi precej oddaljenih izviroh (P.HABIČ, 1976). Brez stalnih meritev na urejenih presekih ob izviroh so posamezne vrednosti težko primerljive.

### Ocenjene velikosti zaledja izvirov

Po najnižjih izmerjenih pretokih v februarju 1989 smo ocenili približno velikost zaledja kraških izvirov. Ob predpostavki, da se iz krasa Poljsanske gore izteka ob najnižjih vodostajih povprečno 3 l/s/km<sup>2</sup>, dobimo za Dobličico okrog 43 km<sup>2</sup> zaledja, vsi izviri ob zahodnem kraškem obrobju nizke Bele krajine pa imajo okrog 74 km<sup>2</sup> zaledja. Na podoban način smo izračunali tudi velikost zaledja izvirov ob Kolpi in Krki in jih primerjali z orografsko in hidrogeološko opredeljenim zaledjem.

Podaljšano sušno obdobje 1988/89 je bilo izredno ugodno za primerjavo minimalnih izdatnosti drugih izvirov in za izračun velikosti njihovega zaledja na podlagi prepostavljenega minimalnega specifičnega odtoka. Ta najbrž ni enak po vsem Dolenjskem krasu, ker se v zaledju izvirov prepletajo zelo različne hidrogeološke enote. Tudi mešanje podzemeljskih voda iz različnih orografskih območij onemogoča natančnejše opredelitve zaledja kraških izvirov. Izmerjeni in izračunani pretoki na celotnem območju Krke in Kolpe so prikazani v tabeli 11.

Večina izračunanih površin se sklada z znanimi zaledji, le pri nekaterih so izrazita odstopanja. Za izvir Prečne v Luknji pri Novem mestu je ozemlje celotne vzhodne Suhe krajine med Krko in Temenico premajhno. Obratno je orografsko in hidrogeološko zaledje Radešice z Obrhom preveliko glede na pretoke. Iz tega zaledja se najbrž voda razteka še v druge izvire ob Krki, v Krupo in Dobličico. To bo treba preveriti z novimi sledenji.

**Tabela 11: NAJNIŽJE IZDATNOSTI IZVIROV POZIMI 1989  
IN PO NJIH IZRAČUNANA VELIKOST ZALEDJJA**

Izvir	Najnižji pretok Q l/s	Zaledje km <sup>2</sup>
Obrh	75	25
Radešica	360	120
Krupa	540	180
Kotnica	250	83
Bilpa	200	67
Šumetac	40	13
Dolski potok	180	60
Tominčev studenec	1500	500
Krka pri Dvoru	1600	530
Prečna v Luknji	1800	600
Skupaj		2178 km <sup>2</sup>

Za primerjavo izračunanega zaledja z orografsko ali hidrogeološko opredeljenim skupnim zaledjem teh izvirov še ni na voljo potrebnih podatkov.

## OMEJITEV ZALEDJJA DOBLIČICE IN SOSEDNIH IZVIROV

Po opravljenih raziskavah in sledenjih lahko le približno prostorsko omejimo zaledje Dobličice. Hidrogeološka meja med Dobličico in Podturnščico poteka verjetno po zdrobljeni coni ob prelomu Semič-Dobličice-Radenci. Na njej je v pobočju Poljanske gore izoblikovan strm žleb Tratovnik. Razvodje med Dobličico in Podturnščico tedaj poteka od Kvasice čez Tančo Goro in po žlebu med Okrožnikom (813m) in Vuščem (616m) proti Poljanski dolini.

Na zahod naj bi kraško zaledje Dobličice segalo do jurskih dolomitov na slemenu Poljanske gore med Bukovo goro (636m), Židovcem (847m), Debelim vrhom (861m) ter Okrožnikom (813). Za praktično varovanje celotnega zaledja pa je najugodnejše, da prištejemo k zaledju tudi strmo zahodno reber Poljanske gore med Koprivnikom in Starim trgom.

Omejitev zaledja Dobličice na severni strani je po morfoloških in hidrogeoloških značilnostih razmeroma težavna. Po geološki zgradbi sodimo, da se v Dobličico odceja jo kredni in jurski apnenci izpod Krogliška (1054m), Sredgore (838m) in Planine pod Mirno goro. Če upoštevamo sicer nezanesljivo sled uranina iz Ponikev v Dobličici, potem sega njeno zaledje še v zahodno obrobje Mirne gore. Ta predel smo na karti zaledja Dobličice posebej označili kot bifurkacijski. Praktično lahko severno mejo zaledja potegnemo po razvodnih slemenih med Krogliškom in Mirno goro (Pril.5).

S to omejitvijo zajemamo tudi zaledje Jelševnika, ki ga doslej še nismo mogli po-

drobneje omejiti. Po geološki zgradbi sklepamo, da mu pripada blok zgornjejurskih apnencev in dolomitov ob jugovzhodnem vznožju Mirne gore med Kotom pri Semiču in Jelševniku. Ta blok pripada narivni enoti, ki zajezuje vode Dobljčice, zato je možno, da ima Jelševnik ločeno zaledje. Delno se iz tega bloka odcejaajo vode v Sihurno in Talački potok, ki se pri Svibniku izliva v Dobljčico. Po občasnem presihanju Sihurne sklepamo, da se tam prelivajo na površje le visoke vode, nizke pa se stekajo bodisi v Breg, ali v Jelševnik. Podrobneje bo mogoče to razmerje pojasniti z nadaljnimi raziskavami.

Zaledje Podturnščice in Nerajčice doslej še ni bilo podrobneje preučeno. Po vsej verjetnosti se v Podturnščico odceja blok ob transversalnem prelomu, ki je vzporeden s prelomom Dobljčice-Radenci. Ob podobnem prelomu še bolj proti jugovzhodu pa izvira Nerajčica. Očitno se kraške vode prelivajo na površje ob čelu istega nariva kot pri Dobljčici. Zaledje sega do razvodnih slemen na obeh straneh Kolečaja (961m) ali celo do zahodnejših jurskih dolomitov.

S praktičnega vidika je potrebno v varovalno območje Dobljčice in sosednjih izviror od Jelševnika do Nerajca vključiti celotno Poljansko goro, ne glede na večjo ali manjšo hidrološko zvezo med izviri. Iz tega varovalnega območja bi morda lahko izključili le skrajni jugovzhodni del med Novo Lipo in Vinico, Sinjim Vrhom in Špeharji, od koder se vode odcejaajo neposredno h Kolpi. Ker pa so tamkajšnji studenci tudi dragocen vir pitne vode, je potrebno varovalno območje razširiti čez vso Poljansko goro do Kolpe.

Zaradi potreb po občasnem izkoriščanju stalnih zalog v zaledju obravnavanih izviror je potrebno varovati tudi nizki kras ob vzhodnem vznožju Poljanske gore. V to dodatno varstveno območje s posebnim režimom spada predel med Kotom, Otovcem, Blatnikom, Kvasico, Dragatušem, Nerajcem, Suhorjem, Novo Lipo in Vinico. Glede na predvidene potrebe po vodi kaže zavarovati vsaj območje med Otovcem in Nerajcem (Pril.5). V priloženi tabeli so prikazane površine zaledij in predlaganih varovalnih območij.

Tabela 12: PREGLED VELIKOSTI ZALEDIJ IN VARSTVENIH OBMOČIJ

Zaledje v km <sup>2</sup>	F <sub>n</sub>	F <sub>o</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V
Dobljčica	43	46,4	46,4	20,0	2,9	69,3
Jelševnik	10	18,9	18,9	-	2,4	21,3
Podt.Neraj.	11	22,3	22,3	-	7,1	19,4
Izv.ob Kolpi	?	39,3	39,3	-	8,1	47,4
Skupaj km <sup>2</sup>	?	126,9	126,9	20,0	20,5	157,4

Opomba: F<sub>n</sub> - hidrološko zaledje

F<sub>o</sub> - orografsko hidrogeološko zaledje

V<sub>1</sub> - širše varstveno območje

V<sub>2</sub> - območje izven zaledja

V<sub>3</sub> - dodatno zaledje stalnih zalog

V - celotno varstveno območje

## VARSTVENA OBMOČJA IN VAROVANJE DOBLIČICE

V krasu je zaradi načina pretakanja voda potrebno varovati celotno hidrografsko zaledje vsakega izvira posebej ali več izvirov skupaj. V podzemlje preniknejo deževnica in vse tekočine, kjerkoli v zaledju dosežejo kraško površje. Del jih hitro odteče, del pa se dolgo zadrži v podzemlju.

Ker v takih razmerah kakovost vode ne more biti vezana na čas njenega zadrževanja v podzemlju ali samočiščenja med odtokom v oddaljen izvir, tudi niso smiselni različni varstveni pasovi, ki so oprti na zadrževanje in naravno čiščenje vode, kot to velja za biološko čiščenje v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo.

V kraških vodonosnikih je potrebno varovati celotno zaledje, ki ob nizkih ali visokih vodah napaja izvir. Ker je sanacija onesnaženega izvira zelo težavna, je možno onesnaženi podzemeljski sistem prepustiti le dolgotrajnemu naravnemu izpiranju. Kakovost kraških vodnih virov je torej odvisna le od učinkovitega preprečevanja onesnaženja.

Zaledje Dobličice je stalno ogroženo le v naseljenem delu Dobličke gore. Občasno je ogroženo ob lokalnih in regionalnih prometnicah. Z izredno ogroženostjo bi se srečali ob morebitnem razlitju strupenih snovi pri prevozu ali iz skladišča škodljivih snovi v zaledju. Ob taki nesreči ni mogoče več preprečiti vdora škodljivih snovi v vodonosnik in v zajetje. Časa za intervencijo v zaledju praktično ni. Učinkovito varovanje celotnega zaledja Dobličice je še toliko pomembnejše, ker je to edini zadostni vodni vir za oskrbo celotne Bele krajine, odkar je onesnažena Krupa.

## SKLEP

Potreba po raziskavi Dobličice in sosednjih kraških izvirov na zahodnem obrobju Bele krajine v jugovzhodni Sloveniji se je pojavila, ko je bilo ugotovljeno nevarno onesnaženje Krupe kot najizdatnejšega vodnega vira v osrednji Beli krajini s polikloriranimi bifenili (PCB). Ker Krupa še nekaj desetletij ne bo pitna, je bilo treba poiskati druge vodne vire.

Dobrih 4 km zahodno od Črnomlja je v nizkem dobličko - viniškem podolju ob vznožju Poljanske gore niz kraških izvirov Dobličice in Lahinje. To pomembno hidrografsko vozlišče Bele krajine je očitno povezano s hidrogeološkimi razmerami in geomorfološkim razvojem na obrobju tektonske cone, ob kateri je pogreznjena Bela krajina oziroma dvignjeno njeno zahodno kraško obrobje. Razpored izvirov in površinskih tokov v Beli krajini kaže, da se je njen osrednji del najbolj pogreznil, tako da je tudi Kolpa zavila proti severu.

Na severnem, zahodnem in južnem obrobju pliocenske tektonske kadunje pri Kanižarici so razvrščeni izviri Talaškega oziroma Paškega potoka, Jelševniškega potoka, Obršca, Dobličice, Podturnščice, Obrščice, Nerajčice in Lahinje. Ta hidrografski vozle je očitno nastal v tektonskem jarku ob vzhodnem obrobju Poljanske gore. V doblički kotlini se podzemeljske vode prelivajo na površje niže kot bi se lahko v dolini Kolpe celo



med Adlešiči in Gribljami. Nižje od Dobljice je le izvir Krupe v osrednji Belokrajski kotlini.

O vzrokih za takšne razmere je razpravljal že I. GAMS (1961,211). Zavrača misel o tektonskem grezanju ob Lahinji, ker ta ne kaže znakov akumulacije, pri različnem tektonskem dviganju obrobja pa bi se po njegovem morale pokazati lokalne anomalije strmega, naprimer Kolpe. Razpored in strmec tokov skuša razložiti z različno grobim plavjem. Kolpa prenaša razmeroma debel prod, Lahinja pa le ilovico, zato naj bi bil njen strmec enkrat manjši od Kolpinega (Kolpa 0,65, Lahinja 0,34 °/∞). Novejša morfotektonska preučevanja pa nas prepričujejo, da gre za različno tektonsko premikanje strukturnih enot tudi v sami Beli krajini, kar pomembno vpliva na hidrogeološke razmere.

V prvi fazi raziskav smo izvedli poskusno črpanje Dobljice. Ob nizki vodi oktobra 1986 smo ugotovili, da je možno izkoriščati tudi stalne zaloge tega izvira ob znižanju gladine pod prelivni rob. V 75 urah je bilo izčrpanih okrog 80.000 m<sup>3</sup> vode ob znižanju gladine za 2 m. Zaradi dotoka iz podzemlja je pretok od začetnih 90 l/s narastel na 180 l/s. Ocenjene izkoristljive količine stalnih zalog je treba preveriti še z daljšim črpanjem ob najnižjih vodostajih. Vse kaže, da je s temi količinami možno kriti potrebe po vodi tudi ob daljši suši.

Leta 1987 smo nato preučili hidrogeološke, geomorfološke in speleološke razmere v širšem zaledju Dobljice in izvedli priprave na kombinirani sledilni poskus, s katerim smo leta 1988 preverili zveze onesnaženih kočevskih ponikalnic. Uranin vlit v Rinžo pri Kočevju se je pojavil v Bilpi ob Kolpi, rodamin iz Koprivnika v Dolskem potoku, fagi iz Kačjega potoka v Radešici in v Obrhu, eozin iz Željskega potoka pa samo v Radešici (Tabela 2). S tem je bilo posredno ugotovljeno, da sega zaledje Dobljice le v ožje območje Poljanske gore in Kočevskega Roga.

V četrti fazi je bilo izvedeno sledenje treh ponikalnic v ožjem zaledju Dobljice in dokazane so bile zveze ponikalnice pri Vrčicah s Krupo (fagi), Ponikev na Mirni gori z Radešico in Krupo (uranin) ter Zdenca pri Miklarjih z Dobljico (rodamin, Tabela 4). S tem je bila dana možnost za opredelitev območja, ki ga je treba varovati kot hidrološko zaledje še edinega dovolj izdatnega vodnega vira v Beli krajini.

Zaledje kraških izvirov zahodno od Črnomlja je hribovito, gozdnato in redko naseljeno. Gorati gozdni kras brez pomembnejših površinskih tokov se razteza proti zahodu tja čez Kočevski Rog do Kočevskega polja, na jugu sega do Kolpe, na severu pa ga omejujeta dolina Krke in nizka Suha krajina. Razen v izvire ob Kolpi in Krki se visoki kraški hribi med Kočevjem in Črnomljem podzemeljsko odcejaajo le še v Dobljico in sosednje najnižje ležeče izvire ob vznožju Poljanske gore.

Razmejevanje zaledij posameznih izvirov na obrobju sklenjenega kraškega vodnosnika, iz katerega se vode raztekajo na več strani, je po večini precej težavno. Izvire na obrobju odtočnega krasa napaja deževnica, ki prenika sorazmerno navpično skozi vadozno cono do freatične cone.

Po osnovni geološki karti SFRJ, list Ribnica (S. BUSER, 1974), Novo mesto (M. PLENIČAR, U. PREMUR, 1977), Črnomelj (J. BUKOVAC, M. ŠUŠNJAR, M.

POLJAK, M. ČAKALO, 1984) in Delnice (D. SAVIČ, S. DOZET, 1985) prevladujejo v zaledju Dobličice, na Poljanski gori in v Kočevskem Rogu predvsem kredni in jurski apnenci v skupni stratigrafski debelini okrog 4000 m, med katerimi so tudi posamezni tanjši vložki dolomita. Pretežno skladnate kamnine vpadajo položno proti severovzhodu, tako so jurski skladi razgaljeni v Kočevskem Rogu in ob Kolpi, spodnjekredne pa na Poljanski gori in ob izviri Lahinje. Med Knežjo Lipo in Mozljem so pod jurskimi skladi razgaljeni norijsko retijski dolomiti in permski klastiti, ki delujejo v podlagi apnencev kot hidrogeološka bariera. Pri Jelševniku in Nerajcu najdemo malmske sklade na vrhnjih členih spodnje krede. V obeh primerih moramo računati z naravnimi deformacijami regionalnega pomena. Zgornje triasni dolomit je na vzhodnem obrobju Mirne gore, v njem je površinsko razvodje le med Črmošnjicami in Vrčicami. Delno se ta blok triasnega dolomita podzemeljsko odteka v Črmošnjico in Radešico, delno pa v Krupo.

Tektonska pretrtost karbonatnih kamnin je posledica starejšega gubanja in narivanja ter mlajšega vertikalnega in horizontalnega premikanja posameznih zgradbenih enot. Znani so številni prelomi in prelomne cone, ob katerih so dvignjene ali pogreznjene posamezne strukturne enote in bloki kot bolj ali manj samostojna hidrogeološka telesa. V reliefu prihajajo bolj do veljave neotektonske enote. V zaledju Dobličice, na razvodju med Krko in Kolpo kot tudi v širšem obrobju Bele krajine in v njej sami se prepletajo prelomi dinarske in prečne balatonske smeri, redkejši so prelomi v smeri sever-jug. Iz OGGK je mogoče razbrati tudi razkosane starejše narivne enote, ki so večinoma razporejene od severovzhoda proti jugozahodu, osi gub in čela narivov potekajo torej v dinarski smeri.

V splošnem so premiki balatonske smeri NE - SW mlajši od dinarskih v smeri NW - SE. To je pomembno za razporeditev izvirov in obseg njihovega zaledja na celotnem zahodnem obrobju Bele krajine. Vsak od izvirov od Sihurne, mimo Jelševnika, Obršca, Dobličice, Podturnščice in Obrščice do Nerajčice pripada svojemu tektonskemu bloku in med njimi doslej nismo dokazali izdatnejših hidroloških zvez. Vendar tektonske enote niso med seboj popolnoma ločene, kot je pokazala zveza Miklarskega zdenca z Dobličico. Voda se v tem predelu pretaka vsaj navidez prečno na tektonsko razkosanost blokov, kar pa je lahko rezultanta prečnih in vzdolžnih smeri.

Kraško površje v višinah med 200 in 1000 m je med zgornjo Krko in Kolpo razgibano in ga po morfoloških značilnostih lahko delimo v manjše strukturne reliefne enote. Razporejene so ob vzdolžnih dinarskih in prečnih prelomnih conah. Pomebna morfološka meja na vzhodni strani poteka ob žužemberškem prelomu ob zgornji Krki, ki se nadaljuje po Črmošnjiški dolini do Vrčic in dalje v dobličko podolje ob zahodni Beli krajini.

Druga taka prelomna cona poteka na zahodni strani po ribniško kočevskem podolju ob znanem želimeljskem prelomu. Vmes sta dva vzdolžna višja hrbta, vzhodni se iz nižje Suhe krajine nadaljuje čez visoki Kočevski Rog (1099m) v Poljansko goro, zahodni pa se iz Ribniške Male gore nadaljuje v Kočevski Mali gori. Podroben morfološki pregled je pokazal, da so večje zgradbene enote z neotektonskimi premiki razčlenjene še na manjše, ki so različno dvignjene ali pogreznjene. Te enote so omejene z značilnimi tektonskimi pobočji, rebri imenovanimi.

Po dosedanjih raziskavah sklepamo, da poteka razvodje med Krko in Kolpo po nizkem podolju od Kočevja proti Mozlju. Krki pripada pretežni del Kočevskega Roga in Male gore. Računati pa moramo s široko bifurkacijsko kraško cono, ki jo nakazuje raztekanje voda iz Ponikev na Mirni gori v Radešico in v Krupo. Razen posebne hidrogeološke pregrade v podlagi Male gore, ki izdanja s kremenovimi peščenjaki med Mozljem in Knežjo Lipo ter usmerja del podzemeljskih voda iz nizkega kočevskega podolja proti severu, nakazuje smer podzemeljskega odtoka splošna nagnjenost kraškega reliefa.

V letih od 1986 do 1990 so bile analizirane kemijske lastnosti izvirov in ponorov, ki so navedeni v priloženem seznamu. Prvi vzorci Dobličice in sosednji izvirov so bili vzeti med avgustom in decembrom 1986, od leta 1987 do 1990 pa v pomladanskem obdobju od marca do junija. Izviri v porečju Krke in Lahinje ter ob Kolpi so bili zajeti le nekajkrat v letih med 1987 in 1990.

Temperature izvirnih voda se gibljejo med 9 in 12°C. Vsak izvir ima svoj temperaturni režim, le nekateri bližnji so si bolj podobni kot Podturnščica in Obrščica. Podobno velja tudi za trdoto vode in druge kemijske parametre.

Nekateri rezultati analiz so prikazani na sl.18-21, iz katerih so razvidna nihanja vrednosti prek leta. Slika 19 podaja povprečne vrednosti meritev. Za nekaj izvirov smo imeli na voljo le po en vzorec, za druge pa različno število, tudi do 17 vzorcev. Celokupna trdota se giblje med 160 in 190 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>. Specifične električne prevodnosti pa tudi karbonatne trdote so sorazmerne celokupni trdoti. Razmerje Ca/Mg je v izvirih odvisen od deleža dolomita v njihovem zaledju. Povprečne vrednosti Ca/Mg znašajo 1,5 do 17,6. Vsebnosti o- fosfatov, nitrátov, kloridov in raztopljenega kisika so pri nekaterih izvirih nakazale onesnaženost. Zdenec pri Otovcu, Obršec in Suhorski Breg so bolj onesnaženi, znake onesnaženja pa smo zabeležili še v Sihurni, Pačkem Brežičku, Talačkem Bregu, Bilpi in Radešici.

Sestava ponorne vode se pri podzemeljskem pretoku v krasu bistveno spremeni, zato po njeni sestavi težko sklepamo na podzemeljske zveze z določenimi izviri. Visoka koncentracija sulfátov v Željnskem potoku bi bila lahko naravno sledilo, če v podzemlju ne bi prišlo do prevelikih razredčitev. Povišane koncentracije sulfátov so se pojavile ob višjem vodostaju v Crkavniku in v Radešici, ob nižjem vodostaju pa le v Crkavniku.

Minimalne izdatnosti izvirov smo izračunali s pomočjo povprečnega koeficienta praznjenja  $\alpha = 9 \times 10^{-3}$  in sicer po 30 in po 60 dneh od začetka februarja 1989. Izračunane vrednosti za 30 dnevno praznjenje se dobro skladajo z izmerjenimi pretoki 22. februarja. Tako so glede na izredno nizke vode v februarju 1989 računske vrednosti za 60 dnevno praznjenje kraškega podzemlja daleč najnižji pretoki, ki bi se pojavili v izjemnih letnih sušah.

Ob predpostavki, da se iz krasa Poljanske gore izteka ob najnižjih vodostajih povprečno 3 l/s/km<sup>2</sup>, je po izmerjenih pretokih v februarju 1989 ocenjena približna velikosti zaledja posameznega kraškega izvira. Zaledje Dobličice meri tako okrog 43 km<sup>2</sup>, vsi izviri ob zahodnem obrobju Bele krajine pa imajo okrog 74 km<sup>2</sup> kraškega zaledja. Na podoben način so določene tudi zaledja drugih kraških izvirov ob Kolpi in Krki. Na podlagi sledenj ter geoloških in morfoloških značilnosti opredeljeno prostorsko zaledje je pri

nekaterih izvirih manjše, pri drugih večje od računskega. Za pojasnitev tega so potrebne dodatne raziskave.

S praktičnega vidika je potrebno v varovalno območje Dobljčice in sosednjih izvirov od Jelševnika do Nerajca vključiti celotno Poljansko goro, ne glede na večjo ali manjšo hidrološko povezanost posameznih izvirov. Iz tega varovalnega območja bi lahko izključili le skrajni jugovzhodni del med Novo Lipo in Vinico, Sinjim Vrhom in Špeharji, od koder se vode odcejajo neposredno v Kolpo. Ker pa so tamkajšnji studenci tudi dragocen vir pitne vode, je potrebno varovati ves Kočevski Rog in vso Poljansko goro do Kolpe. Z morebitnim izkoriščanjem stalnih zalog Dobljčice je povezano tudi varovanje nizkega krasa ob vzhodnem vznožju Poljanske gore. S posebnim režimom je potrebno varovati podolje med Kotom, Otovcem, Dobljčami, Dragatušem in Vinico.

Zaledje Dobljčice je stalno ogroženo le v naseljenem delu Dobljčke Gore, občasno je ogroženo ob lokalnih in regionalnih prometnicah. Z izredno ogroženostjo bi se srečali ob morebitnem razlitju strupenih snovi ob nesreči pri prevozu ali v skladišču škodljivih snovi v zaledju. Ob taki nesreči ni mogoče več preprečiti vdora škodljivih snovi v vodonosnik in v zajetje. Časa za intervencijo v zaledju praktično ni. Učinkovito varovanje celotnega zaledja Dobljčice je zato še toliko pomembnejše, ker je to, odkar je onesnažena Krupa s PCB, še edini zadostni vodni vir za oskrbo celotne Bele krajine.

## VIRI IN LITERATURA

- Aljnančič, M., Mihevc, A., Habič, P., 1986: Črni močeril iz Bele krajine. Naše jame, 28, 39-44, Ljubljana
- Bukovac, J. et al., 1984: Osnovna geološka karta SFRJ. Tumač za list Črnomelj. 1-63, Savezni geološki zavod, Beograd
- Buser, S., 1974: Osnovna geološka karta SFRJ. Tolmač za list Ribnica. Zvezni geološki zavod, 1-60, Beograd
- Čadež, N., 1956: Poročilo o barvanju Rinže. Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SRS, Ljubljana
- Čadež, N., 1963: Hidrografsko zaledje izvira Radešice pri Podturnu. Geografski vestnik 34, 139 - 141, Ljubljana
- Gams, I., 1961: H geomorfologiji Bele krajine. Geografski zbornik 6, 191-240, Ljubljana
- Gams, I., 1965: Aperçu sur l'hydrologie du Karst Slovène et sur ses communications souterraines. Naše jame, 7, 51-60, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1987: Podrobne litološko-strukturne preiskave izvira Dobljčice. Raziskovanje Dobljčice, 1.faza (1986), Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1976: Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniku in problemi izrabe kraških voda za oskrbo. Acta carsologica, 7, 215-256, Ljubljana
- Habič, P. et al. 1977: Osnovna speleološka karta Slovenije, 3. nadaljevanje. Naše jame, 18, 55-62, Ljubljana
- Habič, P. et al. 1980: Osnovna speleološka karta Slovenije, 5. nadaljevanje. Naše jame, 21, 19-29, Ljubljana
- Habič, P., 1981: Nekatere značilnosti kopastega krasa v Sloveniji. Acta carsologica, 9, 5-25, Ljubljana

- Habič, P., 1982: Vpliv tektonike na pretakanje vode v krasu. Naš krš, 6,10-11, 37-46, Sarajevo
- Habič, P., 1982a: Kraški relief in tektonika. Acta carsologica, 10 (1981), 23-44, Ljubljana
- Habič, P., 1984: Reliefne enote in strukturnice matičnega Krasa. Acta carsologica, 12(1983), 5-26, Ljubljana
- Habič, P., 1984a: Strukturne oblike v kraškem reliefu Dolenjske in Bele krajine. GDS,Dolenjska in Bela krajina, 57-66,Ljubljana
- Habič, P., 1987: Raziskovanje Dobličice, I. faza. Poročilo za leto 1986. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1988: Tektonska pogojenost kraškega reliefa zahodne Suhe krajine. Acta carsologica, 17, 33-64, Ljubljana
- Habič, P., 1988: Raziskovanje Dobličice, II.faza. Poročilo za leto 1987. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1989: Raziskovanje Dobličice, III. faza, Poročilo za leto 1988. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1990: Raziskovanje Dobličice, IV.faza. Poročilo za leto 1989. Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna
- Kovačič, I., 1988: Poročilo o delu Vodnogospodarskega inštituta. Idejna rešitev vodopreskrbe Bele krajine, III.faza. Arhiv VGI, Ljubljana
- Kranjc, A., 1972: Kraški svet Kočevskega polja in izraba njegovih tal. Geografski zbornik, 13, 129-194, Ljubljana
- Kranjc, A., 1988: Ponori v strugi Rinže nizvodno od Kočevja, 1. faza kartiranja. Raziskovanje Dobličice, 2.faza (1987). Arhiv IZRK ZRC SAZU, Postojna
- Krebs, N., 1928: Zur Geomorphologie von Hochkroatien und Unterkrain. Sond.abdr. aus Jubilaeums Sonderband der Zeitschr. der Gesellschaft f. Erdkunde zu Berlin.
- Lehmann, E., 1933: Das Gotscheer Hochland, Grundlinien einer Landeskunde. Leipzig
- Melik, A., 1959: Posavska Slovenija. Slovenska matica, 1-595, Ljubljana
- Novak, D., 1968: Ponikve v Kočevskem Rogu. Naše jame, 10, 89-91, Ljubljana
- Novak, D., 1969: Izvir Kotnica in njegovo hidrografske zaledje. Varstvo narave, 6, 25-36, Ljubljana
- Novak, D., 1970: Hidrogeološke značilnosti osrednje Dolenjske. Naše jame, 11, 17-24, Ljubljana
- Novak, D., 1971: A contribution to the knowledge of physical and chemical properties of the ground waters in the Slovene karst. Krš Jugoslavije, 7, 5, 171-188, Zagreb
- Novak, D., 1984: Raziskave zaledja Krupe v Beli krajini. 9. jugoslovanski speleološki kongres, 279-284, Zagreb
- Novak, D., 1984a: Barvanje Črmošnjice. Naše jame, 26, 95-96, Ljubljana
- Novak, D., 1986: The pollution of the karstic ground water; the example of Krupa. 9. Congress International de Speleologie, 1, 87-88, Barcelona
- Novak, D., 1987: Podzemeljski vodni tokovi na Dolenjskem. Dolenjski kras, 2, 23-27, Novo mesto
- Novak, D., 1989: Pregled hidrogeoloških raziskav v Beli krajini. Naše jame, 31, 44-48, Ljubljana
- Pleničar, M., Premru, U., 1977: Osnovna geološka karta SFRJ, Tolmač za list Novo mesto, 1-61, Zvezni geološki zavod, Beograd
- Plut, D., 1988: Belokrajnske vode. 1-198, Dolenjski muzej, Novo mesto
- Premru, U., 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. Geologija, 19 211-249, Ljubljana
- Premru, U., Ogorelec, B., Šribar, L., 1977: O geološki zgradbi Dolenjske. Geologija, 20, 167-192, Ljubljana

- Premru, U., 1982: Geološka zgradba južne Slovenije. *Geologija*, 25/1, 95-126, Ljubljana
- Savič, D., Dozet, S., 1985: Osnovna geološka karta, Tumač za list Delnice. 1-66, Savezni geološki zavod, Beograd
- Simonič, J., 1939: Geografski pregled kočevskega jezikovno mešanega ozemlja. *Kočevski zbornik*, Ljubljana
- Šifrer, M., 1969: Kvarterni razvoj doline Krke. *Arhiv Inštituta za geografijo SAZU*, Ljubljana
- Šerko, A., 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 18, 125-139, Ljubljana
- Šušteršič, F., 1988: Geološki pogoji oblikovanja kraškega prevodnika v zaledju Dobličice. *Raziskovanje Dobličice, 2.faza(1987)*. *Arhiv IZRK ZRC SAZU*, Postojna

## DOBLIČICA SPRINGS AND THEIR WIDER KARST BACKGROUND

### Summary

The necessity to explore Dobličica and the neighbour karst springs on the western border of Bela Krajina in SW Slovenia appeared, when dangerous pollution of Krupa spring, the most important source in central Bela Krajina, by polycyclic bipheniles (PCB) was stated. As Krupa remains undrinkable for some decennies another water source has to be found.

Some 4 km west from Črnomelj there is in Dobličica - Vinica lowland at the foot of Poljanska gora a series of karst springs of Dobličica and Lahinja. This important hydrographical knot of Bela krajina is obviously controlled by hydrogeological conditions and geomorphological development on the border of tectonic zone along which Bela krajina had subsided, its western karst border uplifted respectively. The distribution of springs and superficial streams in Bela krajina evidences that the central part had subsided the most, thus Kolpa river turned out of its direction towards north (Annex 1).

On northern, western and southern border of Pliocene tectonic valley near Kanižarica the springs of Talački, Pački brook respectively and Jelševniški potok, Obrše, Dobličica, Podturnšičica, Obrščica, Nerajčica and Lahinja are distributed. This hydrographic knot obviously developed in tectonic graben along the eastern border of Poljanska gora. In Dobličice basin the underground waters appear on the surface lower than it could be possible in the whole Kolpa valley, even between Adlešiči and Griblje. Lower than Dobličica spring lies Krupa spring only in the central basin of Bela krajina.

The reasons for such conditions were discussed by I.GAMS already (1961, 211). He rejects the idea about tectonic subsidence along Lahinja, as it does not show the signs of accumulation and by different tectonic uplift of the border there should be some local gradient anomalies, of Kolpa for instance, according to him. He tries to explain the distribution and streams gradient by differently coarse sediments. Kolpa transports relatively coarse gravel and Lahinja loam only therefore its gradient is once smaller than the Kolpa's one (Kolpa 0.65, Lahinja 0.34 ‰). Recent morphotectonic studies infer that there are different tectonic movements of structural units in Bela krajina itself involved importantly influencing on hydrogeological conditions.

In first phase of investigations the experimental pumping of Dobličica was achieved. During the low waters in October 1986 we stated that the permanent storage of this spring could be exploited during the level lowering under the flood overflow limit. In 75 hours about 80.000 m<sup>3</sup>

of water were pumped and the level lowered for 2 m. Because of inflow from the underground the discharge augmented from initial 90 l/s to 180 l/s. The estimated useful quantities of permanent water storage has to be checked by longer pumping during the lowest water level. It seems that the quantities could cover the needs for water during longer drought.

In 1987 hydrogeological, geomorphological and speleological conditions were studied in wider background of Dobljiča and the preparations were done for the combined water tracing test which checked in 1988 the connections among polluted Kočevje sinking streams. Rinža near Kočevje was traced by Uranine and it appeared in Bilpa along Kolpa, Rhodamine from Koprivnik was found in Dolski potok, phages from Kačji potok and Eosine from Željnski potok were found in Radešica and in Obrh (Table 2). Thus it was directly inferred that Dobljiča background extends into narrow region of Poljanska gora and Kočevski Rog.

In fourth phase the water tracing of three sinking streams in narrow background of Dobljiča was achieved and the connections of sinking brook near Vrčice with Krupa (phages), Ponikve on Mirna gora with Radešica and Krupa (Uranine) and Zdenec near Miklarji with Dobljiča (Rhodamine) were stated (Table 4). Thus the possibility to define the area for special protection of the hydrological background of the only enough abundant water spring in Bela krajina was given.

The hinterland of karst springs west from Črnomelj is hilly, forested and scarcely populated. Mountainous forest karst without important superficial flows extends westwards across Kočevski Rog to Kočevje basin, southwards it reaches Kolpa and northwards it is bordered by Krka valley and low Suha krajina. Beside the springs along Kolpa and Krka the high karst mountains between Kočevje and Črnomelj drain underground to Dobljiča only and to neighbour the lowest lying springs at the foot of Poljanska gora.

The definition of background of particular springs on the border of connected karst aquifer, from where the waters drain to different parts is difficult in general. The springs on the border of outflow karst are mostly fed by rainwater percolating relatively vertically through vadose zone to phreatic zone. The conduits in both zones are mostly karstified bedplanes, fissures and faults in the rock. Some relief properties control their hydrological role as part of the water is collected in surface or close to surface layers and drains accordingly to slope inclination. Deeper in the interior the water drainage is connected to hydrogeological properties of rocks controlled by lithological and tectonic conditions. Water outflow on the karst border greatly depends on the situation of the lowest dams and hydrological barriers directing the water.

According to Basic Geological Map SFRJ, sheet Ribnica (S.BUSER, 1974), Novo mesto (M.PLENIČAR, U.PREMRU, 1977), Črnomelj (J.BUKOVAC, M.ŠUŠNJAR, M.POLJAK, M.ČAKALO, 1984) and Delnice (D.SAVIČ, S.DOŽET, 1985) in Dobljiča background, on Poljanska gora and in Kočevski Rog mostly Cretaceous and Jurassic Limestones in common stratigraphic sequence of 4.000 m prevail with some thinner dolomite inliers. In general bedded rocks strike gently towards southeast and thus Jurassic beds are exposed in Kočevski Rog and along Kolpa and Lower Cretaceous on Poljanska gora and near Lahinja springs. Between Knežja Lipa and Mozelj there are under Jurassic beds exposed Norian Rhaethian dolomites and Permian clastics acting in limestone base as hydrogeological barrier. Near Jelševnik and Nerajc there are Malm beds on upper links of Lower Cretaceous. In both cases we have to consider the overthrust deformations of regional importance. Upper Triassic dolomite is found on eastern border of Mirna gora where superficial watershed between Črmošnjice and Vrčice lies only. This block of Triassic dolomite is partly drained underground to Črmošnjica and Radešica and partly to Krupa.

Tectonically crushed carbonate rocks partly result from older folding and overthrusting and partly from younger vertical and horizontal movements of particular structural units. Several faults and fault zone are known where particular structural units and blocks as more or less independent hydrogeological bodies are either uplifted or lowered. In Dobličica background, on watershed between Krka and Kolpa as well as in wider border of Bela krajina and in it itself, the faults of Dinaric and cross Balaton directions are mingled, the faults north-south being more rare. From the Basic geological map we can see some dissected older thrust units which are in general distributed from northeast towards southwest, axis of folds and steps of overthrusts thus having Dinaric orientation (Annex 2)

The movements of Balaton direction NE-SW are in general younger than the Dinaric ones in NW-SE direction. This is important for the distribution of springs and for the extent of their background on the entire west border of Bela krajina. The springs from Sihurna, past Jelševnik, Obršc, Dobličica, Podturnščica and Obrščica to Nerajčica each belong to particular tectonic block and among them the important hydrological connections have not yet been evidenced. But the tectonic units are not entirely separated one from the other as proved the connection of Miklarjev zdenec with Dobličica. In this area the water flows at least apparently transverse to tectonically dissected blocks which could be the resultant of transverse and longitudinal directions.

Karst surface in the altitudes between 200 to 1000 m between upper Krka and Kolpa is undulated and according to morphological properties could be divided into smaller structural relief units. They are distributed along longitudinal Dinaric and transverse fault zones. Important morphological border on eastern side passes along Žužemberk fault in upper Krka and continues across Črmošnjice valley to Vrčice and further on into Dobličica valley along the western border of Bela krajina (Annex 3,4).

The second fault zone passes on western side on Ribnica Kočevje basin along known Želimlje fault. Inbetween there are two longitudinal higher ridges, the eastern continues from lower Suha krajina across high Kočevski Rog (1099 m) into Poljanska gora, the western one continues from Ribniška Mala gora into Kočevska Mala gora. Detailed morphological survey showed that bigger structural units are dissected to smaller by neotectonic movements, which are differently uplifted or lowered. These units are bordered by characteristic tectonic slopes, called "reber".

According to previous investigations we infer that watershed between Krka and Kolpa passes by lowland from Kočevje to Mozelj. The most part of Kočevski Rog and Mala gora belongs to Krka. But we have to consider the wide bifurcation karst zone evidenced by water dispersion from Ponikve on Mirna gora to Radeščica and Krupa. The only exception is hydrogeological barrier in the base of Mala gora outcropped by quartz sandstones between Mozelj and Knežja Lipa and directing a part of underground waters from Kočevje lowland towards north, the direction of underground runoff being controlled by general karst relief inclination.

In the years from 1986 to 1990 the chemical properties of springs and ponors, cited in the annexed list, were analysed. The first samples of Dobličica and neighbour springs were taken between August and December 1986, and from 1987 to 1990 in the period from March to June. The springs in the Krka and Lahinja river basin were sampled periodically in 1987 and 1990 only.

The temperatures of spring waters vary from 8.5 to 12 °C. Each spring has its own temperature regime, some close lying are more similar one to the other, as f.e. Podturnščica and Obrščica. Similar statement can be done for water hardness and other chemical parameters.

Some analyses results are shown on Fig.18, where the value oscillations during the year are presented. Fig. 19 presents average measurements values. For some springs there has been one



sample only and for the others different number of samples, up to 17 even.

Total hardness of the springs varies between 160 to 290 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ , the values of specific electrical conductivity (SEC) and the carbonate hardness are proportional to total hardness, the rate Ca/Mg in the springs depends on dolomite share in their background. The average values of Ca/Mg are 1.5 to 17.6. The measurements of o-phosphates, nitrates, chlorides and dissolved oxygen content have shown at some springs the pollution; Zdenec near Otovec, Obršec, spring in Suhorje slopes are more polluted, the traces of pollution were found in the water of Sihurna, Paški Brežiček, Talački Breg, Bilpa and in Radešica.

During the underground flow the composition of ponor water essentially changes therefore it is difficult to infer to underground connections of particular springs. High sulphates concentrations in Željnski potok could serve as a natural tracer if there were not too big dilutions in the underground. Augmented sulphates concentrations appeared f.e. during high waters in Crkavnik and in Radešica, during low waters in Crkavnik only.

Minimal springs yielding was calculated by average coefficient of runoff  $\alpha = 9 \times 10^{-3}$  namely after 30 and 60 days from the beginning of February 1989. Calculated values for 30 days of runoff well correspond to measured discharges on 22 February (Tables 9 and 10). Thus there are calculated values for 60 days of runoff from the karst underground, because of extremely low waters in February 1989 the lowest discharges which could appear in extremely dry summers.

Supposing that from Poljanska gora karst during the lowest water levels in average 3 l/s/km<sup>2</sup> drain, the average size of background of particular karst spring (Tables 9 and 11) was estimated according to discharges in February 1989. Thus the Dobličica background measures about 43 km<sup>2</sup>, and all the springs in the western border of Bela krajina about 74 km<sup>2</sup> of karst background. The backgrounds of other karst springs along Kolpa and Krka were defined by similar way. On the base of water tracing and geological and morphological properties the space background is smaller at some springs, and bigger at some others than the calculated one, therefore additional researches are necessary.

From practical point of view to the protection area of Dobličica and near springs from Jelševnik to Nerajc the whole Poljanska gora has to be included without regard to bigger or smaller hydrological connection among particular springs. Out of this protection area could be excluded the extreme southeastern part between Lipa and Vinica, Sinji vrh and Špeharji only from where the waters drain directly towards Kolpa. As the there lying springs present a valuable source of drinking water, the whole Kočevski Rog and Poljanska gora to the Kolpa have to be protected. By eventual exploitation of Dobličica permanent storage of water the protection of low karst at the eastern foot of Poljanska gora is connected. By special regime the valley among Kot, Otovec, Dobliče, Dragatuš and Vinica has to be protected (Annex 5).

The Dobličica background is permanently threatened in the inhabited part of Dobličica gora only, and periodically threatened along local and regional roads. Extreme threat presents the eventual accident during the transport of harmful substances and eventual spill or, the magazine of such substances in the background. After such accident the intrusion of harmful substances into the aquifer or in catchment area could not be prevented. There is practically no time for the intervention in the background. Efficient protection of the whole area of Dobličica background is thus the most important as it is the only sufficient water source for water supply of the whole Bela krajina, since Krupa was polluted by PCB.

Translated by Maja Kranjc

# KRAŠKI IZVIR KAJŽA IN NJEGOVO ZALEDJE

KARST SPRING KAJŽA  
AND ITS HYDROLOGICAL BACKGROUND

Jože JANEŽ, Jože ČAR

**Izvleček**

UDK 551.444.5 (497.12-15)

**Janež, Jože, Čar, Jože: Kraški izvir Kajža in njegovo zaledje**

Izvir Kajža je prelivni kraški izvir v severozahodnem delu Trnovsko banjške planote. Njegov pretok niha med 7 in 1500 l/s. Po deževju je voda kalna, dokler pretok ne upade pod 25 l/s. Bakteriološka oporečnost se pojavlja pri pretokih večjih od 19 l/s. Zaledje izvira je določeno s podrobnim litološko-tektonskim kartiranjem s poudarkom na ločevanju zdrobljenih, porušenih in razpoklinskih con. Zgrajeno je iz dveh enot: globokega krasa na apnencih in lokalno prepustne viseče flišne pregrade. Zaledje na flišu naj bi ščitili s širšim varstvenim območjem (3.cona), v ožje varstveno območje (2.cona) je vključeno kraško zaledje na apnencih. Najozžje varstveno območje (1.cona) obsega površje odprtih razpoklinskih con ob izviru in ograjeno okolico zajetja.

**Abstract**

UDC 551.444.5 (497.12-15)

**Janež, Jože, Čar, Jože: Karst spring Kajža and its hydrological background**

Spring Kajža is an overflow karst spring on the north-western part of Trnovo-Banjšice plateau. Its discharge is from 7 to 1500 l/s. The water is muddy after big rains till the discharge decreases under 25 l/s. At discharges over 19 l/s it is bacteriological unsuitable. The hydrological background was located on the base of detailed lithologic-tectonical mapping with special accent to distinguishing crushed, broken and fissure zones. It is built by two units: deep karst and local permeable hanging flysch barrier. Hydrological background on flysch is protected with the broader protection area (3rd zone). Karst background on limestones is included in the narrow protection area (2nd zone). The most narrow protection area (1st zone) embraces the surface of open fissure zones behind the spring and the fenced in water capture surroundings.

**Naslov - Address**

Jože Janež, dipl.ing.geol.  
Dr. Jože Čar, dipl.ing.geol.  
Rudnik živega srebra Idrija  
Kapetana Mihevca 15  
YU - 65280 Idrija

## **Vsebina**

Uvod.....	105
Geološke razmere.....	105
Hidrogeološke razmere.....	108
Izvir Kajža.....	113
Hidrološko zaledje izvira Kajža.....	127
Varstvena območja.....	130
Sklep.....	131
Literatura.....	132
Karst spring Kajža and its hydrological background (Summary).....	134



## UVOD

Globoki kras Banjške planote sestavljajo kredni apnenci, ki so okoli Grgarja, Kanalskega Vrha in Banjšic prekriti s flišnimi plastmi. Na flišu so drobni, vendar številni in pestri hidrološki pojavi, ki so v veliko pomoč pri odkrivanju delovanja kraškega sistema. Podzemne vode obsežnega kraškega vodonosnika iztekajo predvsem na izviru Mrzlek (77 m nadmorske višine) pri Solkanu, manjše količine pa tudi na severozahodnem obrobju planote, v dolini potoka Avščka, 190 do 200 m visoko. Izvir Kajža je med temi izviri največji. Njegov položaj smo poskušali pojasniti s podrobnim litološko-tektonskim kartiranjem zaledja s poudarkom na kartiranju pretrtih con. Le to je dobro razložilo tudi hidrogeološko vlogo in značaj fliša na ožjem območju Banjšic in Kanalskega Vrha, dodatno je osvetlilo in potrdilo rezultate starejših sledilnih poskusov na planoti in v kombinaciji s hidrološkimi meritvami na izviru ter bakteriološkimi in kemičnimi analizami omogočilo določitev hidrološkega zaledja izvira, varstvenih območij in varovalnih ukrepov.

## GEOLOŠKE RAZMERE

### Pregled dosedanjih geoloških raziskav

Prva geološka raziskovalca Banjške planote sta bila v prejšnjem stoletju Stur (1858) in Stache (1889). Leta 1920 je izšla Kossmatova geološka karta lista Tolmin, v merilu 1:75.000. Apnenca Banjške planote je prišel zgornjekrednemu rudistnemu apnencu, flišne litološke člene pa eocenu.

Po drugi svetovni vojni je Banjško planoto geološko kartiral Buser. Izsledke geološkega kartiranja in paleontoloških raziskav sta objavila Turnšek in Buser (1974). V svetlo sivih do temnosivih neplastnatih gebenskih apnencih sta na več lokacijah našla številno knidarijsko fauno. Korale, hidrozoji in hetetide dokazujejo spodnje kredno barremijsko-aptijsko starost. Debelozrnata apnenčeva breča, ki leži diskordantno na grebenskem apnencu, je po podatkih Buserja (Turnšek in Buser, 1974) senonijske starosti, medtem ko naj bi bile pisano razvite flišne plasti zgornjesenonijske in paleocenske starosti.

Flišne kamnine je v okolici Kanalskega Vrha leta 1979 stratigrafsko raziskoval Pavšič. Po njegovih ugotovitvah pripada rdečkasti bazalni laporasti apnenec najvišjemu delu maastrichta, zelenkasti in sivkasti laporji in peščenjaki z brečo črnega in sivega apnenca pa so že spodnjepaleocenske starosti.

Pavšič in Pleničar (1981) poročata, da so ob poti Morsko - Kanalski Vrh razvite danijske flišne kamnine. V tej razpravi najdemo tudi podatek, da je tudi fliš Banjške

planote danijske starosti.

Geološke razmere Banjske planote so pregledno prikazane na osnovni geološki karti SFRJ 1:100.000 list Tolmin in Videm (Buser, 1986). Podatke osnovne geološke karte bomo komentirali v nadaljnjem tekstu.

### **Novi podatki o geologiji raziskanega ozemlja**

Za reševanje hidroloških problemov smo poleg hidrolitološke razčlenitve plasti (prepustni - delno prepustni - neprepustni členi) in določitve prostorske lege in razprostiranja posameznih hidrolitoloških členov, ugotavljali predvsem potek različnih pretrtih con (zdrobljene, porušene in razpoklinske) skladno z uvedenimi postopki podrobnega kartiranja pretrtih con na krasu (Čar, 1982; Čar in Gospodarič, 1984). Dosedanje geološke raziskave obravnavanega ozemlja so bile namreč v prvi vrsti namenjene reševanju splošnih stratigrafsko-tektonskih problemov ali specialnim biostratigrafskim raziskavam (Kossmat, 1908, 1909, 1920; Turnšek in Buser, 1974; Pavšič, 1979, 1981; Buser, 1986). Pri tem so raziskovalci preučevali podrobnejšo litologijo plasti le v določenih odprtih profilih (Pavšič, 1979, 1981) ob cesti Morsko - Kanalski Vrh in Kanalski Vrh - Bate), sicer pa zelo splošno.

### **Stratigrafsko-litološka razčlenitev plasti**

Osrednji del kartiranega terena gradi barremijski in aptijski (Buser, 1986) apnenec, ki je najstarejša kamnina raziskanega ozemlja (sl. 1). Najdemo ga na levem bregu Avščka med Dolnjim Avščkom in Ležino, gradi celotno pobočje Osojnice, Debelega griča (763 m) in Goleka (821 m). Severna meja apnenčevega pasu poteka iz doline Avščka po dolini potoka Poščrn, dalje po jugovzhodnem obrobju Belega brda (715 m) in južnem obrobju izravnave Kanalskega Vrha mimo brezna Jazbenk (uporabljamo ime Jazbenk, kot je zapisano na novjših topografskih kartah, sicer se zapisuje tudi Jazben) proti Preddolu. Južni rob poteka iz doline Avščka pri Ležini po grapi Mournika, nato po pobočju Osojnice do lokacije Pri cerkvi, nato pa zaobjema flišno globel okrog Humarjev in Mrcinj (sl. 1).

Severovzhodni del spodnjekrednega apnenca je razvit kot neplastnat, temno do svetlo siv, mestoma skoraj bel organogen grebenski apnenec. V njem so pogostni vložki mikritnega in oolitnega apnenca s posameznimi koralami. Prav tako niso redki brečasti vložki. Organogeno skeletno osnovo apnenca gradijo korale, hidrozoji in hetetide (Turnšek in Buser, 1974). Grebenski apnenec s številnimi organizmi prehaja na območju Goleka bočno v temno siv do siv bituminozen plastnat apnenec.

Diskordantno na opisanih spodnjekrednih apnencih leži najprej bazalna apnenčeva blokovna breča, nato pa - tu in tam - rdeč laporast apnenec. Po razpoložljivih podatkih (Pavšič, 1979, 1981; Buser, 1986) sta kamnini maastrichtijske starosti. Apnenčevo brečo najdemo na južnem obrobju izravnave Kanalskega Vrha ob vznožju Goleka. V veliki

debelini je razvita ob cesti proti Batam, medtem ko se proti severovzhodu postopno izklinja. Podobno zakonitost opazujemo tudi na vzhodnem delu obravnavanega ozemlja. Apnenčeva breča je razvita v več desetmetrski debelini na zahodnem obrobju flišne globeli med Lohkami in lokacijo Pri cerkvi severozahodno od Mrcinj, proti dolini Avščka pa je razvita le tu in tam.

Na maastrichtijski apnenčevi breči in rdečem laporastem apnencu ležijo flišne kamnine. Pavšič (1979, 1981) jim je določil paleocensko starost, Buser (1986) pa maastrichtijsko v dolini Avščka in na Banjšicah ter paleocensko pri Kanalskem Vrhu. Menjava se pešчени laporovec, rdečkasti laporovec in peščenjak ter masivni trdi laporovec. V našete neprepustne litološke člene so vloženi različno obarvani prepustni apnenčevi klastiti, ki so pomembni za razlago hidroloških razmer obravnavanega terena. Apnenčevi klastiti so razviti v obliki različno dolgih in debelih leč. Največkrat se začenjajo z debelo-zrnatim konglomeratom, nato pa prehajajo v drobnozrnat apnenčev peščenjak. Spodnji kontakti leč so običajno ostri, zgornji postopni, vendar sorazmerno hitri. Lateralno izklinjanje leč je postopno.

Zaradi značaja izklinjanja apnenčevih klastičnih plasti, majhne debeline nekaterih leč in močne tektonske pretrtosti kamnin je praktično nemogoče prostorsko nedvoumno opredeliti prav vse apnenčevo-klastične nivoje. Na območju Kanalskega Vrha smo jih lahko zanesljivo določili vsaj šestnajst, med dolino Avščka in Mrcinjami pa deset. Vse leče potekajo v smeri severozahod - jugovzhod in ne vzporedno z diskordanco kot bi pričakovali.

### **Tektonika in stopnja pretrtosti kamnin**

Celotno kartirano območje prištevamo širši prelomni coni močnega, v dinarski smeri potekajočega Avškega preloma (Predjamskega preloma). Njegova ožja prelomna cona z močno pretrtim notranjim obrobjem zunanje prelomne cone je predstavljala preddispozicijo za nastanek doline Avščka. Kompaktne tektonske breče, značilne za notranje prelomne cone, najdemo danes v dnu doline Avščka, med Ležino in Bolterjem. Breče omejuje izraziti mejni prelomni ploskvi z vpadom od 70 do 90° proti severovzhodu.

Kartirani teren jugozahodno od doline Avščka seka še cela vrsta z Avškim prelomom bolj ali manj vzporednih spremljajočih prelomov. Med njimi sta, glede na velikost premikanja, močnejša predvsem dva. Prvi poteka po severnem obrobju planote mimo Mrcinj. Buser (1986) ga imenuje Banjški prelom. Prelom, ki poteka po severnem pobočju Goleka, smo imenovali Goleški prelom. Oba spremljajoča preloma veže vrsta veznih prelomov, ki imajo smer NNW-SSE ali pa so usmerjeni skoraj proti jugu. Hidrogeološko posebno pomemben je močan snop veznih prelomov, ki se odcepijo od Banjškega preloma pri Mrcinjah, se postopno usmerjajo proti severu in prislonijo na Avški prelom v dolini Avščka.

Na priloženi karti (sl. 1) smo tektonske cone ločili po stopnji pretrtosti (Čar, 1982)



na zdrobljene, porušene in razpoklinske cone, ki lahko prehajajo vzdolžno druga v drugo. Zdrobljene cone so napolnjene s tektonsko glino, milonitom ali brečo. Razumljivo je, da so posamezne pretrte cone drugače oblikovane v apnencih kot v flišnih kamninah. Za zdrobljene cone v apnencu so značilne debelozrnate, kompaktne neprepustne breče, v flišnem laporovcu tektonska glina, medtem ko opazujemo v apnenčevih klastitih predvsem ozke pasove milonita. V apnencih so ob porušeni conah razvite porušne vrtače, pobočne dolinaste zajede in prevali, v razpoklinskih pa izjemno lepi sistemi vrtač in škrapelj. Porušene cone so v flišnih kamninah zaglinjene in manj opazne. Na teh mestih se ohranja debela preperinska skorja. Največkrat v njih nastajajo različno oblikovane depresije. Razpoklinske cone so v mehkejših litoloških členih opazne le v svežih vseh.

## HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

### Hidrogeološke značilnosti kamnin in tektonsko pretrtih con

Po načinu odtekanja padavinskih voda delimo raziskani teren (metodologija po Habiču s sodelavci, 1984) na območja s popolnim kraškim odtokom in območja z delnim površinskim in pretežno kraškim odtokom. V prvem primeru gre za površje na globoko zakraselih apnencih, brez površinskih vodnih pojavov, izvirov, ponikalnic in površinskih tokov. Na območjih z delnim površinskim in pretežno kraškim odtokom je površinska vodna mreža omejena in razdrobljena na majhne ločene ponikalnice. Napajajo jih šibki izviri na flišu. Večina vode se po kratkem površinskem pretakanju pretoči skozi delno prepustne flišne kamnine v globoko zakraselo apnenčasto podlago.

Na lokalne hidrološke razmere močno vpliva poleg litološke sestave tudi tektonska pretrtost terena. Različne stopnje pretrtosti opazimo tudi znotraj posameznih pretrtih con. Omenimo še, da imajo pretrte cone v različnih kamninah različno prepustnost. Za razmere na Banjški planoti veljajo naslednji odnosi med stopnjo pretrtosti, vrsto kamnine in prepustnostjo:

Stopnja pretrtosti		v apnencih	v flišnih kamninah
zdrobljena cona	-	neprepustna* ali slabo prepustna	neprepustna
porušena cona	-	slabo prepustna	neprepustna ali delno prepustna
razpoklinska cona	-	dobro ali izredno dobro prepustna	delno prepustna*

\*nastopajo ob posebnih pogojih

Že zaradi hitre zgodnjediagenetske cementacije spadajo spodnjekredni apnenci, ki grade osrednji del kartiranega terena in globljo podlago flišnih kamnin, med dobro prepustne kamnine. V njih najdemo vse vrste strukturne sedimentne poroznosti. V grebenskem apnencu je še posebno pogostna luknjičavost med biomorfnimi delci v biolititih. Med primarno poroznostjo v plastnatih apnencih prevladuje poroznost po lezikah. Spodnje kredni apnenci Banjške planote so poleg tega še tektonsko izjemno pretrti. V njih je močno razvita porušna in razpoklinska poroznost, ki je v glavnem že prešla v kraško poroznost. Glede na opisane razmere opredeljujemo spodnjekredni apnenec Banjške planote v splošnem kot izjemno prepustno kamnino.

Edina neprepustna ali slabo prepustna območja v apnencih raziskanega terena so zdrobljene cone (kompaktne tektonske breče). Tak značaj ima ožja cona Avškega preloma v dolini Avščka. Slabo in slabše prepustna območja predstavljajo ožje zdrobljene cone ob veznih prelomih med Avškim in Banjškim prelomom na pobočju Osojnice ter ob nekaterih drugih prelomih na planoti. Prav slednje so glavni vzrok za značilno razporeditev izvirov v dolini Avščka.

Različni flišni laporovci in peščenjaki so v splošnem neprepustne kamnine. V nasprotju s tem se kažejo v njih vloženi apnenčevi peščenjaki kot sorazmerno dobro prepustne kamnine v razpoklinsko poroznostjo. Na flišnih laporovcih in peščenjaki je razvita šibka hidrografska mreža, v apnenčevih klastitih pa opazujemo podzemeljsko pretakanje in lokalno razvite kraške pojave. Tako se kažejo flišne kamnine v okolici Kanalskega Vrha in Mrcinj s hidrogeološkega stališča kot lokalno prepustne (menjavanje prepustnih in neprepustnih kamnin in območij).

V zdrobljenih conah najdemo v flišnih laporovcih in peščenjaki zaglinjene cone, ki so mehansko neodporne. Ob njih se po plitvih grapah pretakajo redke površinske vode. Šibkejšje porušene cone in razpoklinske cone ob ugodnih pogojih povečujejo prepustnost laporovca in peščenjaka kakor tudi vanje vloženi apnenčevi peščenjakovi.

### **Pregled dosedanjih hidroloških raziskav**

V poročilu o raziskavah 334 m globokega brezna Jazbenka pri Kanalskem Vrhu najdemo prve zanimive hidrološke podatke z Banjške planote. Potoček s pretokom 0,4 l/s, ki se pretaka v zadnjem delu Jazbenka, so obarvali z uraninom. Kljub štiritedenskemu opazovanju znanih izvirov v dolini Soče in Avščka barve niso nikjer opazili (Hribar in Habič, 1959). Temeljni opis hidroloških razmer Trnovskega gozda in Banjške planote najdemo v obsežnem Habičevem delu "Kraški svet med Idrijco in Vipavo" (1968). Poleg seznama kraških in hidroloških pojavov (izvirov, ponikalnic) po področjih so navedeni podatki o temperaturi in trdoti kraških voda iz zaledij z različno litološko sestavo. Študija, ki se pretežno ukvarja z nastankom reliefa, obravnava med drugim tudi geomorfološki razvoj Banjšic in nastanek izravnav pri Kanalskem Vrhu, Mrcinjah in Batah.

Krajši pregled hidroloških razmer in seznam do takrat znanih kraških objektov je

zbran v poročilu k osnovni speleološki karti lista Tolmin 4 v merilu 1:50.000 (Habič s sodelavci, 1976). Habič (1982) je izdelal temeljit opis hidrološkega zaledja Mrzleka. V razpravi so najprej obravnavane reliefne značilnosti Banjške planote in kratek pregled hidrogeoloških razmer. Sledi pregled hidroloških, fizikalno-kemičnih in bakterioloških lastnosti kraških izvirov ob Idrijci in Soči. Opisana sta tudi izvira Kajža in Bolterjev zdenec ob Avščku. Raziskanih je bilo več ponikalnic na Banjšicah, pri Grgarju in ponikalnica Čepovanskega potoka. Z barvanjem Čepovanskega potoka leta 1980 so bile dokazane povezave z izvirom Hotešk pri Slapu ob Idrijci, Bolterjevim zdencem v dolini Avščka ter Mrzlekom in drugimi izviri ob Soči. V Kajži, ki je bila tudi opazovana, barvilo ni bilo ugotovljeno.

Habič (1987) je v juniju 1986 na Kanalskem vrhu obarval ponikanico Gornja Mlaka z rodaminom in ponikalnico Na Lazu pod Drnulkom z uraninom. Opazovani so bili izviri na obrobju planote, od Boltarjevega zdenca do izvirov nad Kanalom. Barva ni bila ugotovljena nikjer, kar po avtorjevi oceni kaže na odtok proti Mrzleku, ki ob tej priložnosti ni bil vzorčevan.

### **Hidrološke razmere na visčči flišni pregraji v okolici Lohk, Mrcinj in Kanalskega Vrha**

#### **Izviri**

Izviri v okolici Lohk, Mrcinj in Kanalskega Vrha imajo značilen položaj glede na flišno litologijo (sl. 1). Dosledno so vezani na normalen, največkrat pa tektonski stik med vložki apnenčeve breče in peščenjaka z manj prepustnimi ali neprepustnimi laporovci in kremenovimi peščenjaki. Izdatnejši so, če se nahajajo ob prepustni prelomni coni, ki lahko povezuje dve ali več karbonatnih leč. Izviri v flišu, čeprav šibki, so izrednega pomena za lokalno vodooskrbo.

V okolici Kanalskega Vrha opazujemo leče apnenčevih klastitov skromnih dimenzij, zato so tudi izviri šibki, vendar stalni. Izvir pri Mlaki (1) ima najnižjo izmerjeno izdatnost komaj 0,01 l/s. Zajet je za bližnjo kmetijo. Iz zajetja pri Mlaki (2) z izdatnostjo 0,2 - 0,3 l/s se oskrbuje spodnji del Kanalskega Vrha, medtem ko zgornji del vasi uporablja stalen izvir na Mlaki (3) z najnižjim doslej ugotovljenim pretokom 0,15 l/s. Izvira 1 in 2 imata vsaj delno skupno zaledje. Oba se nahajata ob prelomnem stiku flišnega laporovca z apnenčevim peščenjakom. Voda odteka ob prelomnih conah iz več leč, delno pa je zbiranje pogojeno z ugodnim vpadom laporastih plasti.

Nenavaden položaj ima izvir 3. Njegovo hidrološko zaledje je mogoče razložiti le z upoštevanjem lege plasti in prepustnejših apnenčastih peščenih vložkov, ki jih sicer v travnatih terenih nismo mogli neposredno opazovati. Doslej izmerjene količine kažejo na nihanje med 0,15 - 1,5 l/s.

Za oskrbo zaselka Konec pri Kanalskem Vrhu sta v bližnji grapi urejeni dve zajetji

(4) z najnižjo izmerjeno izdatnostjo 0,1 l/s. V zgornje zajetje se nateka voda ob prelomni coni, v spodnjega pa iz apnenčevega peščenjaka ob stiku s flišnim laporovcem. Poleg opisanih izvirov je na območju Kanalskega Vrha še nekaj presihajočih močil in izvirov.

Iz zajetja Lošček I in Lošček II (5 in 6) se s pitno vodo oskrbujejo Lohke. Njuna minimalna skupna izdatnost je 0,25 l/s, po večdnevnem deževju pa naraste na 17,2 l/s (1.10.1984), tako da je razmerje  $Q_{min} : Q_{max} = 1 : 68$ . Ob deževju se izvira kalita in takrat voda tudi kemično ni primerna. Tudi bakteriološka oporečnost se spreminja v odvisnosti od pretočnih količin oziroma vremenskih pogojev. V zajetju Lošček I so bile ugotovljene fekalne bakterije, medtem ko je v Loščku II bakteriološka oporečnost pogojena s prevelikim številom živih bakterij. Zaledje izvirov še ni bilo natančneje opredeljeno.

Vzhodno od Lohk so trije manjši izviri z imenom Javorščica (7). Ob visokih vodah dajejo več litrov vode v sekundi, ob sušah pa niti 0,1 l/s. Na izvirih smo odvzeli dva bakteriološka vzorca. Obakrat je voda vsebovala fekalne bakterije.

Celotno flišno območje med Mrcinjami in Pri cerkvi je praktično brez izvirov. Zajetje št. 8 in šibak izvir pri Buckih (9) ob suši presahneti. Za popolnejši pregled hidroloških razmer omenjamo še stalno močilo Pri cerkvi (10), ki služi za napajanje živine in stalno stoječo vodo Mlako pod Mrcinjami.

Na flišnem pobočju pod robom planote se nad dolino Avščka nahaja še 5 izvirov. Najvišje v pobočju, na nadmorski višini 640 m, je izvir Pri cerkvi (11). Nihanje pretoka od 0,03 do 3 l/s kaže na njegov kraški značaj. Voda priteka iz obsežne karbonatne leče, delno pa iz peščeno-laporastega zaledja. Pognojeni travniki so vzrok za občasno prisotnost fekalnih bakterij v izviru. Kemično je voda primerna.

Na višini 600 m leži izvir Pri bukvah (12). Izvir je stalen, čeprav ni posebno izdaten. Ob srednje nizki vodi se je iz apnenčevega peščenjaka nacejalo okrog 0,15 l/s.

Približno v isti višini (585 m) leži studenec Mournik (13). Glede na svojo višinsko lego je sorazmerno izdaten. To ni presenetljivo, če upoštevamo, da se ob prelomu, ob katerem se nahaja, pretaka voda iz karbonatnih leč. Najnižjo izdatnost 0,2 do 0,3 l/s smo opazovali avgusta 1984. Največji doslej izmerjeni pretok pa je bil 11 l/s. Razmerje med  $Q_{min}$  in  $Q_{max}$  je 1:55. Voda je kemično primerna. Občasna bakteriološka oporečnost je razložljiva s pognojenimi njivami in travniki v njegovem zaledju.

Še bistveno večje nihanje izdatnosti je bilo ugotovljeno na izviru Zabrdlo (14). Najnižji doslej zabeležen pretok je bil med 0,4 in 0,5 l/s, največji pa 43,2 l/s (razmerje 1:100). Ob nizkem in srednjem vodostaju priteka voda na dan na višini 545 m iz gruča v dnu dokaj izrazito oblikovane grape. Ob višjih vodah zaživi okoli 50 m nad njim občasni jamski bruhalnik Divja hiša. 12 m dolga jama se je oblikovala v skoraj vertikalni steni iz močno nagubanega, tanko plastnatega subvertikalno ležečega apnenčevega peščenjaka.

Voda zabrdskega studenca je bila analizirana dvakrat. Kemična analiza izkazuje primerno vodo, medtem ko je bila bakteriološko obakrat neprimerna. V vodi so bile najdene fekalne bakterije, hkrati pa tudi preveliko število živih bakterij.

## Požiralniki in ponikve

Najsevernejše ponikve v okolici Kanalskega Vrha ležijo že na pobočju nad Kanalom. Šibki izviri po kratkem površinskem pretakanju ponovno izginejo v tankih vložkih apnenčevega peščenjaka. Kot kaže, gre za ponikanje vode ob razširjenih lezikah.

Večji požiralnik (I) se nahaja na levi strani ceste Kanal - Kanalski Vrh tik pred Kanalskim Vrhom. Vanj izginja izvir na Mlaki (3). Ob dolgotrajnejšem deževju se vanj stekajo večje količine vode s celotnega flišnega zaledja dolink, ki se vlečeta jugovzhodno in severno od tod. Drugi večji in stalno aktivni požiralnik (II) leži nekaj deset metrov jugovzhodno od zajetja pri Mlaki (2). Nahaja se na flišnih kamninah v močno porušeni coni. V požiralnikih pri Mlaki lahko izginjajo v podzemlje sorazmerno majhne količine vode. Ob višjih in poplavnih vodah se voda razlije po travniku proti jugu do naslednjega požiralnika (III). Ta se nahaja že v apnencu neposredno na obrobju flišnega pokrova v močni prelomni coni. V dolinastem podaljšku, še kakih 600 m južneje, je vhod v nekdanji požiralnik, 334 m globoki Jazbenk.

V širši okolici Mrcinj najdemo občasni požiralnik le na območju Mlake (IV). Vanj izginja voda iz mlake pod Mrcinjami, v katero se izteka izvir nad Bucki (8), ob poplavnih razmerah pa vode s flišnih terenov med Ošlakarji in Humarji. Drugo požiralno območje (V-VII) se nahaja na južnem obrobju polja pod Mrcinjami. Vanj tečejo viški vode iz izvirov Lošček I in II (5, 6) ter Javorščice (7). Ob poplavih dobijo ponikalno funkcijo tudi številne globoke vrtače v flišu ali apnencu na obrobju flišnega pokrova.

Na koncu pregleda požiralnikov in ponikev moramo omeniti še stalno aktivno požiralno območje nad Ležino (VIII, IX) v levem pobočju Avščka. Vanj zginjajo vode Mournika (13) in Zabrdca (14).

## Izviri in izvirna območja na obrobju globokega krasa v dolini Avščka

V dolini Avščka se med Dolenjim Avščkom in Ležino zvrstijo štiri izvirna območja in dva izvira. Izvir pri Okrogliču (15) s pretokom 0,1 l/s je glede na položaj in izdatnost nepomemben, zato ga ne bomo podrobno obravnavali.

Pod Kajžo je v krednih apnencih na desnem bregu Avščka prelivni kraški izvir (16) s pretokom nekaj deset l/s ob visokih vodah in 5-10 l/s ob srednjih vodostajih. Ob večjih sušah izvir tudi presahne.

Izvirno območje v Lazah (17) se nahaja okoli 450 m nad izvirom Kajža na višini okrog 210 m. Neposredno izpod močno pretrte apnenčeve stene priteka na dveh mestih od 4 - 5 l vode na sekundo. Ob visoki vodi oživi še tretji izvir, ki se nahaja nekoliko višje ob Avščku.

Nasproti Gorjupa sta na višini približno 225 m dva manjša izvira (18) s skupno izdatnostjo okoli 2 l/s. Voda priteka izpod podornega grušča, ki sega vsaj še 30 m v poboč-

je. Levi, izdatnejši, je zajet za vodooskrbo Gorjupove in Bolterjeve kmetije.

Dobrih sto metrov nad Bolterjem se na višini 240 do 245 m nahaja na levem bregu Avščka še Bolterjev zdenec (19). Tudi tu priteka voda na dan izpod podornega gruča na številnih mestih na dolžini 50 do 60 m. Poleg najmočnejšega in najvišje ležečega izvira, ki priteka iz ozke poševne razpoke in so ga pred leti zajeli za oskrbo Avč, smo lahko določili še tri nekoliko bolj koncentrirane izvire in več očitno stalnih močil. Višje v gruščnatem pobočju se nahajajo še tri mesta, kjer izteka voda le ob zelo visokem vodostaju. Zaradi raztresenega iztekanja je merjenje celotne količine Bolterjevega zdenca težko izvedljivo. Primerjanje izmerjenih in ocenjenih količin kaže, da predstavlja raztreseno iztekanje okoli 40 % glavnega izvira. Najnižja doslej izmerjena količina vode pri Bolterjevem zdenecu je bila 3,5 l/s, najvišja pa ocenjena na 1000 l/s (Habič, 1982). Razmerje med  $Q_{min}$  :  $Q_{max}$  = 1 : 285. Temperatura niha med 7,5 in 10,4°C. In še en podatek je za razlago hidrologije Bolterjevega zdenca pomemben - ob visokih vodostajih je voda kalna. Tudi bakteriološko voda ne ustreza, bodisi zaradi prevelikega skupnega števila živih bakterij ali prisotnosti bakterij fekalnega izvora.

Izvir Ležina (20) z izdatnostjo 0,65 l/s priteka z desnega brega Avščka. Nahaja se v ožji coni Avškega preloma in se izteka iz debeložrnate tektonske breče. Ne vemo še, ali gre za pravo izvirno vodo ali le za del vode, ki lahko ponika nekoliko višje v grapi. Nizka temperatura vode pozimi - komaj 4°C - kaže na drugo možnost.

## IZVIR KAJŽA

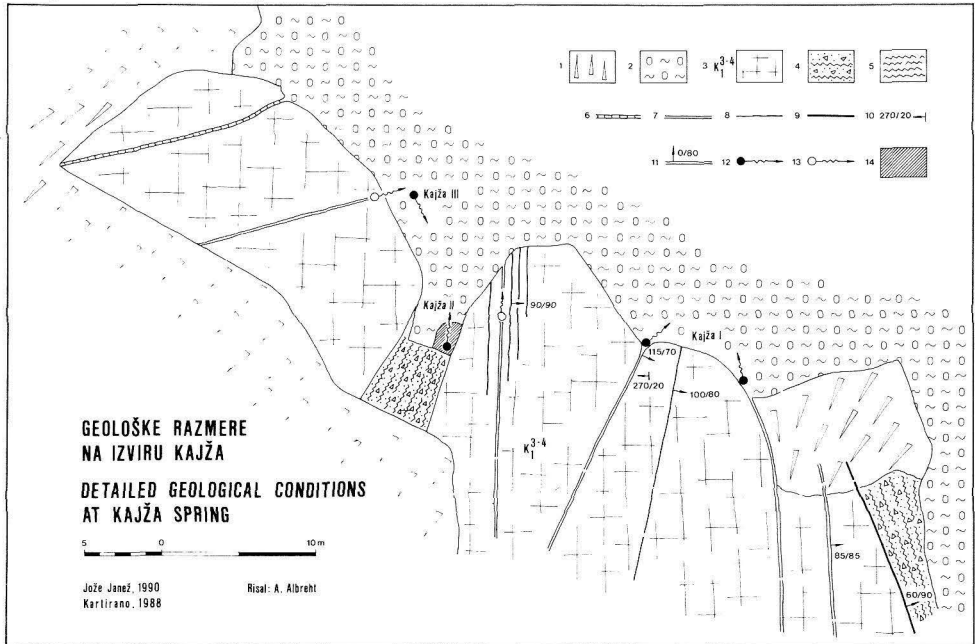
### Položaj in značilnosti izvira

Izvirno območje Kajža leži v dolini potoka Avščka, nekaj več kot 2 km jugovzhodno od Avč. Sestavljajo ga trije izviri na nadmorski višini 191 m (sl. 2). Ob visokih vodah zaživijo še nekatere višje ležeče odprte razpoke. Vse tri izvire pogojuje stik krednih apnencev z okoli 20 m široko zdrobljeno cono Avškega preloma, ki poteka po dolini Avščka. Sama dolina je še dodatno zapolnjena z več metrov debelim fluvialnim močno zaglinjenim srednje in debeložrnatim prodom. Fluvialni nanos je v glavnem slabo prepusten ali neprepusten, razen najvišje plasti (20 do 50 cm), ki je sestavljena iz čistejšega proda in gruča.

Zanimivost kraškega pretakanja pri Kajži je, da ob visokih vodah zaživi nekaj sicer suhih izvirnov, ki ležijo v dolžini 150 m nizvodno na levem bregu Avščka, torej je kota visokovodnih prelivnih izvirnov nižja od stalnih izvirnov Kajža.

Večji del vode na izviru Kajža I priteka iz do 15 cm široke odprte razpoke (vpad 115/70) (sl. 3), manjši pa iz stranske razpoke, ki je bolj zapolnjena z materialom različnih frakcij. Kajža II je vezana na okoli 3 m široko porušeno in zdrobljeno cono. Voda izvira iz kraškega kanala širokega okoli 1 m, ki je zasut s čistim prodom debeline do 15 cm (sl. 4). Kajža II deluje kot preliv za višje vode kraške akumulacije. Prvotni položaj izvira,

pred gradbenim izkopom, je bil več metrov stran od skalnega roba sredi prodnih naplavin. Del vode se je torej pretakal skozi vrhnji del aluvialnega nanosa. Enako je bilo z izviro Kajža III, ki je, kot se je pokazalo po izkopu, vezan na 10 cm odprto razpoko in tudi deluje kot visokovodni preliv.

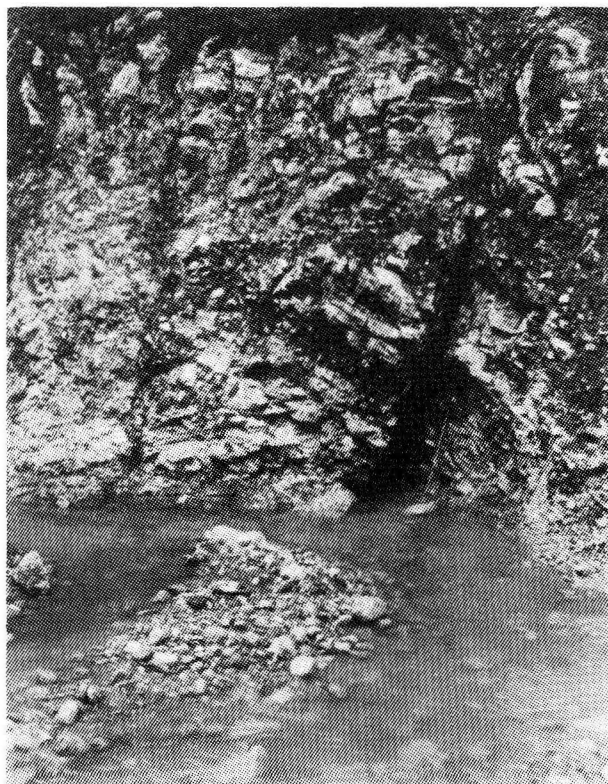


Sl. 2: Geološka razmere na izviro Kajža. 1 - pobočni grušč, 2 - močno zaglinjen prod, 3 - sivi, 3 - zrnati, masivni ali slaboplastnati apnenec, 4 - zdrobljena cona, tektonska breča, 5 - porušena cona, 6 - razpoka, zapolnjena z glino, 7 - odprta razpoka, 8 - razpoka, 9 - prelom, 10 - vpad plasti, 11 - vpad razpoke, 12 - stalen izvir, 13 - občasen bruhalnik, 14 - s prodrom zapolnjen kraški rov

Fig.2: Detailed geological conditions at Kajža spring. 1 - slope rubble, 2 - well clayey gravel, grey, grained, non-bedded or poorly bedded limestone, 4 - crushed zone, tectonic breccia, 5 - broken zone, 6 - fissure, filled with clay, 7 - open fissure, 8 - fissure, 9 - fault, 10 - strike of beds, 11 - strike of fissure, 12 - permanent spring, 13 - periodical effluent, 14 - karst channel filled up with gravel

### Dosedanje raziskave izvira Kajža

Prve dokumentirane raziskave na izviro Kajža je izvedel Habič (1966). Visoke vode Kajže je ocenil na  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  in Bolterjevega zdenca na največ 100 l/s. Izdelal je tudi krajše kemične analize. Habič (1982) ugotavlja, da je dajal izvir Kajža po močnem deževju oktobra 1980  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  vode. Nadalje je ugotovil, da daje Bolterjev zdenec ob nizki vodi le nekaj l/s, ob visokih vodah pa okrog  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kajža in Bolterjev zdenec naj bi imela stalno razliko v temperaturi (Kajža  $9,8^\circ\text{C}$ , Bolterjev zdenec  $10,2^\circ\text{C}$ ).



Sl. 3: Izvir Kajža I. Kraška voda izteka iz odprte razpoke v spodnjekrednem apnencu.

Foto: Jože Janež

Fig.3: Spring Kajža I. Karst water takes it's spring from an open fissure in lower Cretaceous limestone. Foto: Jože Janež

Med sledenjem ponikalnic na Kanalskem vrhu v letu 1986 je Habič (1987) meril pretok na prelivu zajetega izvira Kajža I od 2.6. do 13.6.1986. V deževnem obdobju so pretoki nihali med 40 in 170 l/s.

### **Hidrološke raziskave izvira Kajža**

Z občasnimi meritvami pretoka na izviru Kajža (izvajali so jih Vodno gospodarstvo Nova Gorica, Krajevna skupnost Kanal in RŽS Idrija) se je pričelo že leta 1983 in se nadaljevalo skozi vse leto 1984. Tabela meritev v letu 1984 (tabela 1) dobro prikazuje vse pomanjkljivosti občasnih merenj. Edina uporabna informacija je najmanjši izmerjeni pretok (28.7.1984 - 15 l/s). Ne dobimo pa nikakršne predstave o pretočnem režimu, odvisnosti od padavin, načinu praznjenja, trajanju pretokov, izpuščene so meritve najnižjih in najvišjih pretokov.





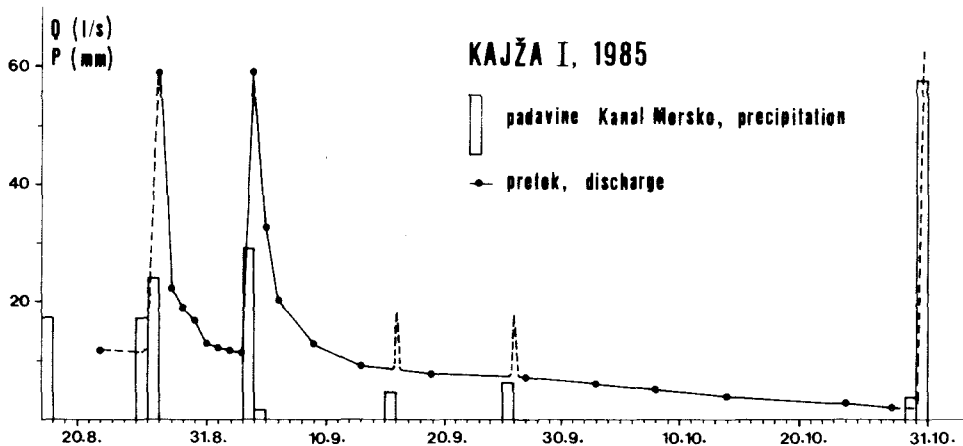
Sl. 4: Izvir Kajža II med gradnjo zajetja. Voda priteka iz zasutega kraškega rova ob robu 3 do 4 m široke pretrte cone v spodnjekrednem apnencu. Foto: Jože Janež

Fig.4: Spring Kajža II. Water flows out of the filled up karst channel at the edge of the 3 - 4 m wide broken zone in lower Cretaceous limestone. Foto: Jože Janež

Tabela 1: Pretoki izvira Kajža I v letu 1984

Datum	Pretok (l/s)	Temp. (°C)	Datum	Pretok (l/s)	Temp. (°C)
12.03.	50	8.5	07.08.	19	
10.05.	90		08.08.	19	
14.05.	48		11.08.	19.2	
04.07.	18		19.08.	26	
08.07.	20		14.09.	120	
15.07.	19		01.10.	95	8.5
19.07.	17		02.10.	90	
23.07.	19		26.10.	69	8.5
28.07.	159		27.12.	72	8.0
05.08.	20				

Poleti in jeseni leta 1985 so bile meritve tedenske. Vendar je tu pomanjkljivost redkih meritev ublažena z dejstvom, da je šlo za dolgo obdobje upadanja kraških voda od 4.9.1985 do 29.10.1985, torej 55 dni. Vmes so na dežemerni postaji Kanal- Morsko samo dvakrat zabeležene manjše padavine. Hidrogram za leto 1985 (sl. 5) kaže na zelo hiter odziv izvira na padavine. Glede na čas meritve padavin (ob 8.00 uri zjutraj za prejšnji dan) in čas meritve pretoka (dopoldne) smo sklepali, da je reakcijski čas izvira manjši od 12 ur.



Sl. 5: Pretok izvira Kajža I v letu 1985

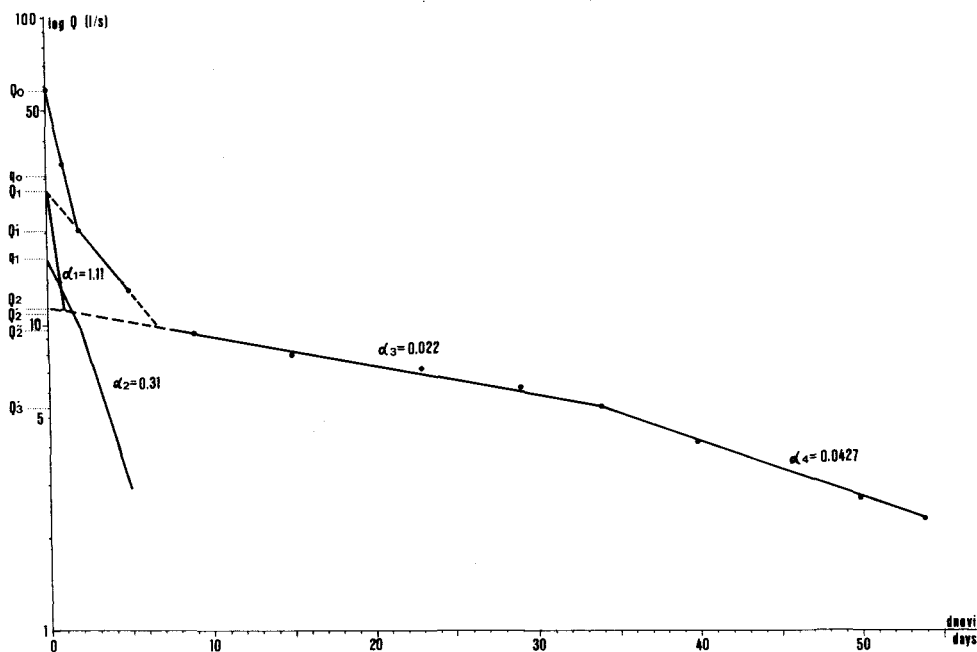
Fig.5: Discharge of the Kajža I spring in 1985

V letu 1985 je bil merski profil postavljen še na starem zajetju. Tako so merjeni in na sl. 5 prikazani samo pretoki izvira Kajža I. Najmanjši izmerjeni pretok Kajže I 2,9 l/s je bil zabeležen 28.10.1985. Izvir Kajža II je imel takrat pretok 2,3 l/s, iz izvira Kajža III pa je teklo 1,8 l/s. Skupni pretok Kajže je torej 28.10.1985 znašal 7,0 l/s, kar so najnižje doslej izmerjene količine.

Dokaj pogoste meritve pretokov med 27.8. in 28.10.1985 nam omogočajo analizo praznjenja kraškega vodonosnika (Mijatović, 1968). Prvo praznjenje je potekalo od 27.8. do 3.9.1985, t.j. 7 dni. Potekalo je v treh podrežimih. Prvi podrežim je trajal 1 dan; pretok izvira je upadel z 59 l/s na 22,4 l/s. Drugi podrežim je trajal 3 dni; pretok izvira je v tem času upadel na 13 l/s. V naslednjih treh dneh se je pretok izvira znižal na 11,5 l/s. Koeficienti praznjenja so:  $\alpha_1 = 2,5$ ,  $\alpha_2 = 0,45$  in  $\alpha_3 = 0,040$ . V sedmih dneh je izteklo  $11.521 \text{ m}^3$  vode, kar da povprečni pretok 19,05 l/s.

Drugo praznjenje je bilo dolgo kar 55 dni, od 4.9. do 29.10.1985 (sl. 6). Izločimo lahko štiri podrežime:

1. podrežim: od 59 do 20,6 l/s; trajanje 2 dni,  $\alpha_1 = 1,11$
2. podrežim: od 20,6 do 9,8 l/s; trajanje 5 dni,  $\alpha_2 = 0,31$
3. podrežim: od 9,8 do 5,4 l/s; trajanje 27 dni,  $\alpha_3 = 0,022$
4. podrežim: pod 5,4 l/s,  $\alpha_4 = 0,043$



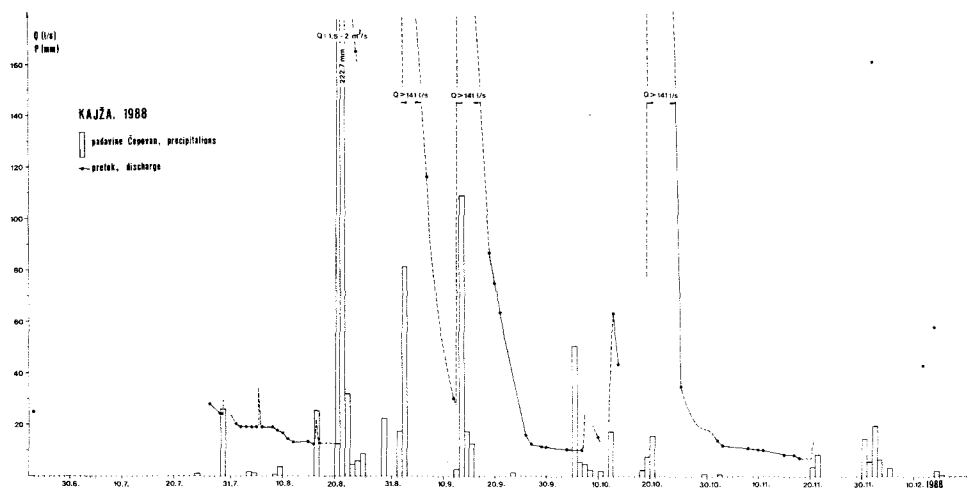
Sl. 6: Kajža I - praznjenje 4.9. - 28.10.1985

Fig.6: Kajža I discharge during recession from 4.9. to 28.10.1985

Presenetljivo dejstvo, da je  $\alpha_4 > \alpha_3$  lahko razložimo z majhnimi padavinami (15.9. - 4,5 mm; 26.9. - 6,7 mm) zabeleženimi na dežemerni postaji Kanal, ki so očitno precej zaustavile upadanje pretoka v tretjem podrežimu. To razlago potrjuje tudi velika podobnost med  $\alpha_3$  prvega praznjenja (27.8. - 3.9) in  $\alpha_4$  drugega praznjenja. Dinamične rezerve so v začetku praznjenja znašale  $62.737 \text{ m}^3$ , po 54 dneh, ko je bil pretok izmerjen zadnjič pred dežjem, pa še  $4654 \text{ m}^3$  vode. V 54 dneh, od 4.9. do 28.10.1985, je skozi Kajžo I izteklo  $58.083 \text{ m}^3$  vode, kar pomeni poprečni pretok  $12,45 \text{ l/s}$ . Če bi se praznjenje nadaljevalo z  $\alpha_4 = 0,043$ , bi izvir presahnil po 125 dneh po začetku upadanja.

V juniju leta 1988 smo namestili Thompsonov preliv v strugi okoli 30 m pod izvirom Kajža III, pred izlivom v potok Avšček. Meritve so ob občasni kontroli izvajali delavci SGP Primorje. Thompsonov preliv je omogočal meritve do prelivne višine 40 cm oziroma količine  $141 \text{ l/s}$ . Pretoki so bili bolj ali manj redno merjeni predvsem ob nizkih vodah. Za primerjavo pretoka Kajže in padavin na Banjški planoti smo uporabili podatke dežemerne postaje Čepovan (sl.7).

Opazovanja v letu 1988 so ponovno pokazala, da se izvir odzove na padavine izredno hitro. V tem pogledu je značilen odziv na zelo močne padavine 21.8.1988. Deževati je začelo 20.8. pred polnočjo, višek padavin pa je bil 21.8. v zgodnjih jutranjih urah. Izvir je dal največ vode (po oceni  $1,5 - 2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) že 21.8. zjutraj, po izjavah prisotnih delavcev SGP Primorje okoli tri ure po višku padavin. Takrat so oživele kraške luknje, ki jih prej



Sl. 7: Pretok izvira Kajža in padavine na dežemerni postaji Čepovan v letu 1988

Fig. 7: The Kajža spring discharge and precipitations at rain gauging station Čepovan in 1988

ni bilo videti, najvišja okoli tri metre nad izvirom Kajža II. Popoldne 21.8. so pretoki že upadli na tretjino jutranjih. Intenzivne padavine so povzročile, da je potok Avšček poplavlil celotno dolino. Največji pretok Avščeka so ocenili na 4 do 5 m<sup>3</sup>/s.

V Čepovanu je višek padavin nastopil nekoliko kasneje (verjetno 21.8. dopoldne, 222,7 mm padavin 21.8. je bilo odčitanih 22.8. ob 7.00 uri).

Zanimiv pojav se je pripetil 5.8.1988. Tisti dan je imel izvir Kajža I 19 l/s pretoka, Kajža II pa je bil med gradbenimi deli zajezen in ni preliv. Popoldne med 13.00 in 14.00 uro je prišel izvir Kajža II prelivati okoli 15 l/s (ocena delavcev SGP Primorje). Voda je bila kalna. Pri tem se pretok Kajže I ni vidno povečal. Pojav je trajal okoli 30 min, nato je izvir Kajža II spet presahnil. Pojav je gotovo v zvezi z majhnimi padavinami, ki so bile v Čepovanu zabeležene 4.8. in 5.8.

Med 27.7.1988, ko smo začeli spremljati pretoke Kajže in 20.11.1988, ko smo z rednim spremljanjem prenehali, so nastopila tri obdobja upadanja voda. Najdaljše je bilo med 21.10. in 21.11. (30 dni) - vmes je bilo zabeleženo le 1,5 mm dežja. Pretok izvira se je z več sto l/s zmanjšal na 7 l/s. Med 16.9. in 6.10. (20 dni) je padlo le 1,1 mm padavin. Izvir je upadel na 10,2 l/s. Na močne padavine (50,6 mm) zabeležene 6.10. v Čepovanu ni odgovoril, kar kaže na to, da v bližnjem zaledju (Banjšice) dežja najbrž ni bilo. Zato smatramo, da dežemerna postaja Čepovan ne odraža najbolj padavinskih razmer v hidrološkem zaledju izvira Kajža. Enako velja tudi za postajo Kanal (Morsko). Zares merodajne podatke bi dal le nov dežemer, postavljen na Banjšicah.

Iz podatkov o znižanju gladine vode na samem izviru oziroma merskem prelivu smo izračunali navidežno transmisivnost kraškega vodonosnika pri izviru po metodi "čas - znižanje". Za prvi podrežim smo uporabili podatke praznjenja od 2. do 13.6. 1986 (Habič,

1987), za drugi podrežim podatke praznjenja med 27.8. in 3.9.1985 in za tretji podrežim meritve med 4.9. in 28.10.1985 (sl. 8).

I. podrežim, praznjenje kraških kanalov

srednji pretok,  $Q_{sr} = 0,0851 \text{ m}^3/\text{s}$

znižanje,  $ds = 0,16 \text{ m}$

$$\text{navidezna transmisivnost } TaI = \frac{0,183 \cdot Q_{sr}}{s} = 8409 \text{ m}^2/\text{dan}$$

II. podrežim

$Q_{sr} = 0,0208 \text{ m}^3/\text{s}$

$ds = 0,06 \text{ m}$

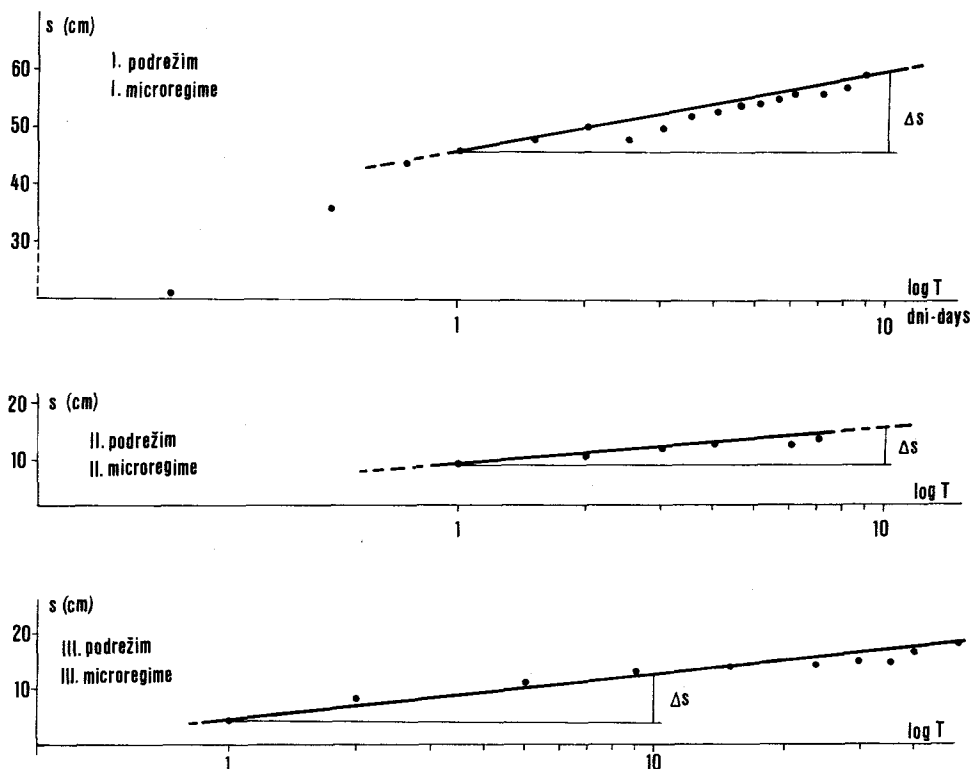
$Ta II = 5481 \text{ m}^2/\text{dan}$

III. podrežim,

$Q_{sr} = 0,0073 \text{ m}^3/\text{s}$

$ds = 0,08 \text{ m}$

$Ta III = 1443 \text{ m}^2/\text{dan}$



Sl. 8: Kajža - izračun navidezne transmisivnosti iz znižanja gladine na izviru po Jacobovi metodi "čas-znižanje"

Fig. 8: Kajža - virtual transmissibility calculation from the spring water table drawdown data using Jacob's method "time - drawdown"

S kartiranjem razpok ob izviru (sl. 2) lahko po Tomiču (1981) izračunamo tudi efektivno poroznost kraškega vodonosnika v predelu izvira. Izhajamo iz naslednjih podatkov:

število odprtih razpok	$N = 5$
razdalja, na kateri merimo razpoke	$l = 35 \text{ m}$
skupna odprtina razpok	$B = 1,4 \text{ m}$
srednja odprtina razpoke	$b = \frac{B}{N} = 0,28 \text{ m}$
gostota razpok	$G = \frac{N}{l} = 0,143/\text{m}$
efektivna poroznost	$n_e = b \times G = 0,04 = 4 \%$

Od začetka decembra 1988 do konca februarja 1989 je trajalo eno najbolj sušnih obdobjev zadnjih desetletij. Dva in pol meseca ni bilo nikakršnih padavin. Pretokov Kajže v tem obdobju nismo več redno spremljali. Na izviru je že bilo izdelano novo zajetje. 15.2.1989, po 71 dneh upadanja, je bil na izviru izmerjen pretok 11,2 l/s, kar je za 50 % več kot je bil najnižja izdatnost v letu 1988. Z izdelavo globokih temeljev zajetja v zaglinjen prod smo verjetno preprečili izgubljanje vode iz kraškega vodonosnika neposredno v prodni dolinski zasip.

### Črpalni poskus

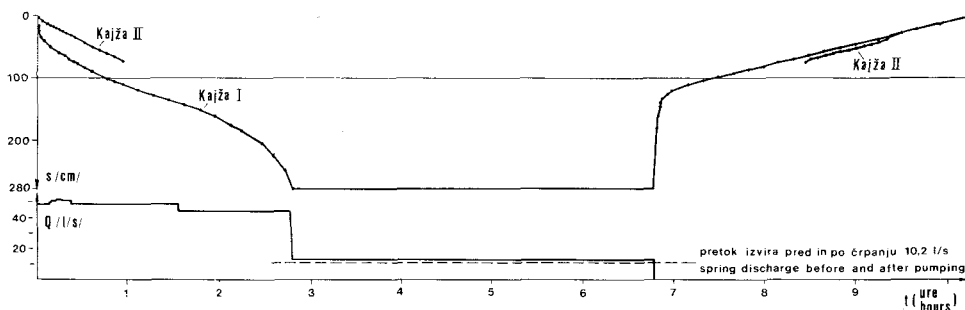
V začetku septembra 1988 smo izkopali na izviru Kajža I gradbeno jamo globine 3,0 m in premera 2-3 m. Izkop je pokazal, da dolinski zasip sestoji iz močno zaglinjenega, zbitega in kompaktnega proda z lečami gline. Prodno-glinasta naplavina je neprepustna. Gradbeni izkop je v dnu dosegel skalnato pobočje.

Dne 4.10.1988, po osemnajstih dnevih brez padavin, je znašal skupni pretok vseh treh izvirov Kajža 10,2 l/s. Nizek vodostaj je omogočal izvedbo poskusnega črpanja na izviru. Črpanje je z razpoložljivo opremo izvedlo SGP Primorje, ob naših merjenjih. Izdatnost črpalke smo merili na Thompsonovem prelivu, znižanje gladine v izviri Kajža I in Kajža II pa s postavljenimi merilnimi letvami. Črpanje smo pričeli 4.10. ob 8.45. Ob 10.59 je prišlo do okvare kompresorja in nadaljnje črpanje ni bilo mogoče. V 134 minutah se je, ob povprečnem pretoku črpalke 48,3 l/s, gladina v izviru Kajža I znižala za 182 cm.

Od 6.10.1988 naprej je sledilo nekaj padavin, po katerih je pretok Kajže toliko narasel, da črpanje ne bi imelo smisla. Po 20.10. je sledilo sušno obdobje in 11.11., po 19 dneh, je pretok spet padel na 10,2 l/s. Tako smo drugo črpanje izvajali v enakih hidroloških pogojih kot prvič. Po 2 urah in 48 minutah s pretokom 48,3 in 43,7 l/s se je gladina

znižala do dna gradbene jame (znižanje 280 cm). Od tega trenutka naprej je črpalka 4 ure vzdrževala suho gradbeno jamo s pretokom 11,8 l/s, kar je 1,6 l/s (15,6 %) več od izdatnosti izvira pred črpanjem.

Gladina v izviru Kajža II, ki je služil kot naravni piezometer, se je začela zniževati praktično istočasno, vendar počasneje. Znižanje na Kajži II smo lahko merili le do globine 70 cm. Globlje merjenje ni bilo izvedljivo, ker je izvir zasut s prodrom. Izvir Kajža III je presahnil hitro po pričetku črpanja. S tem je bila dokazana direktna hidravlična povezanost vseh treh izvirov. Med kratkotrajnim črpanjem smo opazovali tudi Bolterjev zdenec, ki na znižanje gladine v Kajži ni reagiral. Prav tako nismo opazili sprememb v pretoku izvira pod Kajžo na desni strani doline. Dviganje nivoja Kajže je trajalo 2 uri in 7 minut. Pretok izvira je dosegel po črpanju začetno količino 10,2 l/s (sl. 9).



Sl. 9: Kajža - diagram poskusnega črpanja 11.11.1988

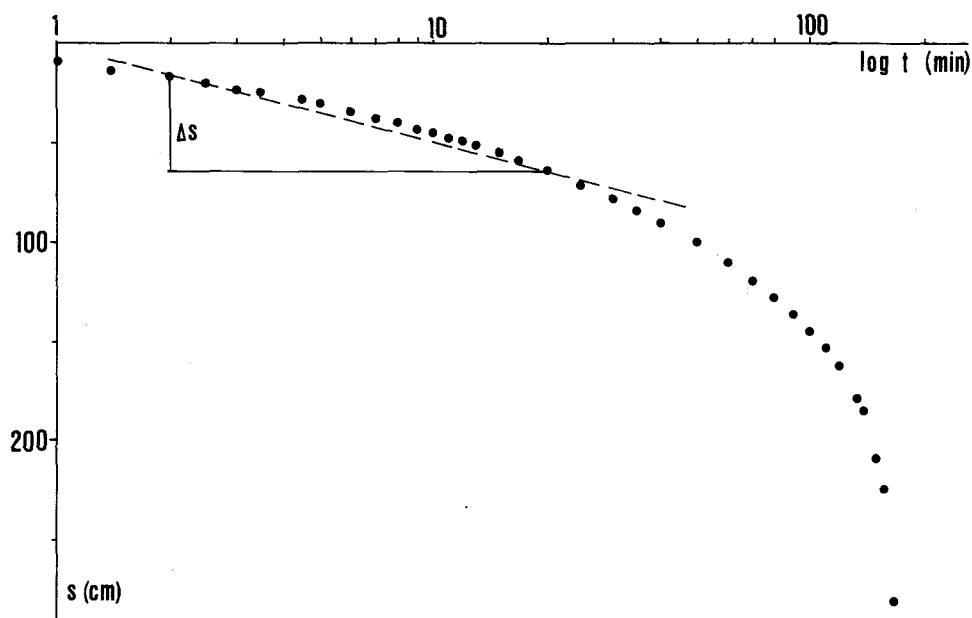
Fig.9: Kajža - diagram of pumping test carried out on 11.11.1988

Iz podatkov črpanja (znižanja in dviga gladine) smo izračunali navidezno transmisivnost. (sl.10, tabela 2). Dobljene vrednosti se dobro ujemajo z vrednostjo, izračunano iz podatkov naravnega znižanja gladine na izviru v obdobju 4.9. - 28.10.1985 med zadnjim podrežimom praznjenja.

Tabela 2: Navidezna transmisivnost

Izvor podatkov za izračun	Navidezna transmisivnost
upadanje 4.9. - 28.10.1985	$1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1443 \text{ m}^2/\text{dan}$
črpanje (diag. $s = f(\log t)$ )	$1,73 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1497 \text{ m}^2/\text{dan}$
dvig gladine ( $s = f(\log t)$ )	$1,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1528 \text{ m}^2/\text{dan}$

Sicer nestandarden črpalni poskus je nakazal nekatere značilnosti kraškega in hidravličnega sistema Kajže. Izrazita sprememba smeri krivulje znižanja gladine (sl. 10) kaže na bližino manj prepustnega območja. Vsaj v neposrednem zaledju Kajže najbrž ni obsežnejše kraške akumulacije, temveč voda doteka po razmeroma ozkem sistemu odprtih in razširjenih razpok ali kraških kanalov.



Sl. 10: Kajža I - zniževanje gladine med poskusnim črpanjem

Fig.10: Kajža I - water table drawdown during pumping test

### Fizikalno kemične lastnosti Kajže

Izmerili in zbrali smo 41 podatkov o občasnih meritvah temperature izvira Kajža do leta 1989. Največji del meritev je opravljen v poletnih mesecih. Dobljeni rezultati nam omogočajo samo najosnovnejšo statistično obdelavo ( $T_{\max} = 11,9^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\min} = 7,0^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{sr}} = 9,7^{\circ}\text{C}$ ).

Tabela 3: Srednje mesečne temperature izvira Kajža

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
8,0	-	-	7,7	9,3	-	(9,9)	9,5	10,0	10,1	9,4	9,1

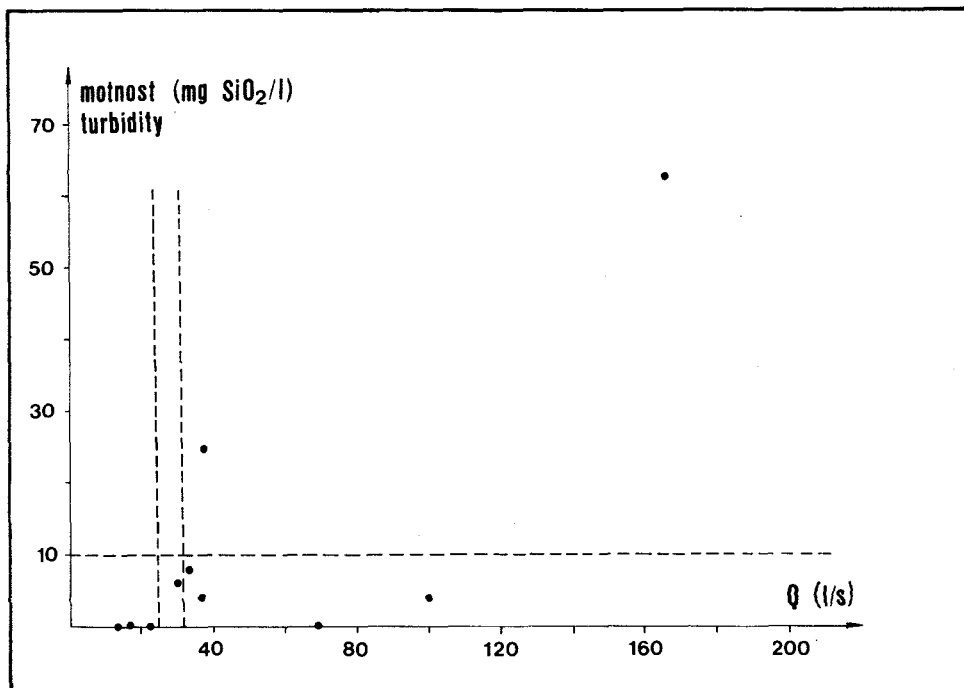
Temperatura vode je odvisna od letnega časa in znotraj krajših časovnih obdobj tudi od pretoka. S porastom izdatnosti izvira vsaj poleti naraste tudi temperatura, vendar le za 0,5 do  $1^{\circ}\text{C}$ . Tako je imela Kajža 17.8.1988  $9,9^{\circ}\text{C}$ , po padavinah in povečanju pretoka pa je temperatura 24.8.1988 narasla na  $10,5^{\circ}\text{C}$ . Dnevnih nihanj temperature zaradi spremembe temperature zraka nismo zaznali in tudi ne nekih značilnih razlik v temperaturi med izvirom Kajžo in Bolterjevem zdencem.

V letih 1983 do 1988 je bilo na motnost analiziranih 27 vzorcev. Žal niso bili pri



vezorčevanju vedno merjeni tudi pretoki izvira, kar precej zmanjšuje vrednost določitve motnosti. Osnovni statistični rezultati motnosti so:

analiziranih vzorcev		$N = 27$	
čistih vzorcev	$M = 0 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$	$N_1 = 15$	55,5 %
pod MDK za pitne vode	$M \leq 10$	$N_2 = 21$	77,7 %
srednja motnost	$M_{sr} = 25,8$		
največja motnost	$M_{max} = 487$		



Sl. 11: Odvisnost med pretokom in motnostjo izvira Kajža

Fig.11: Dependence between discharge and turbidity of the Kajža spring

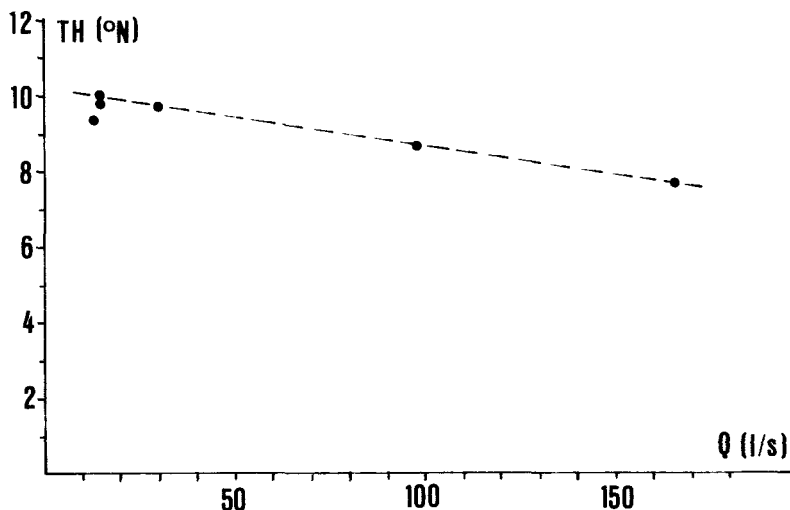
Na motnost vpliva porast pretoka izvira, oziroma padavine v zaledju. Iz slike 11 lahko sklepamo, da pade motnost pod MDK (maksimalna dovoljena koncentracija za pitne vode) pri pretoku izvira med 30 in 35 l/s, popolnoma pa se voda sčisti pri pretokih pod 25 l/s. Voda se skali po vsakih padavinah, po večjem deževju je kalna že na oko. Največja izmerjena motnost je bila kar 487 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ . Tri dni po višku padavin in največjem pretoku Kajže je 24.8.1988 motnost še vedno znašala 63 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$ .

Trajanje obdobj z motnostjo večjo od MDK je odvisno predvsem od velikosti in trajanja padavin. Iz diagrama pretokov Kajže (sl. 7) lahko sklepamo, da so pri večjih

padavinah ta obdobja dolga 8 do 12 dni. Točnejše odvisnosti motnosti od pretokov oziroma padavin bi dobili le s pogostejšim vzorčevanjem in sočasnimi meritvami pretoka.

Kemični pokazatelji organskega onesnaženja dajejo ugodno sliko o kvaliteti izvira. Amonijak ni v nobenem vzorcu (doslej 26 vzorcev) presegel MDK (0,1 mg N/l). Največja določena koncentracija je bila samo 0,02 mg N/l. Nitriti so med 26. analizami enkrat presegli MDK (0,005 mg N/l) s koncentracijo 0,038 mg N/l. Nitrati so bili določeni (6 analiz ob različnih vodostajih) v koncentracijah do 2 mg N/l (MDK = 10 mg N/l). Poraba  $\text{KMnO}_4$  se giblje med 3 in 7,9 mg/l. Najmanjša je običajno pri srednje nizkih vodah, nekoliko naraste pri zelo nizkih pretokih, največje vrednosti pa so zabeležene v vzorcih odvzetih po deževju.

Kloridi se gibljejo med 2,8 in 14 mg/l. Sulfati so bili določeni v koncentracijah od 2,8 do 8,1 mg/l. Oba aniona ne vplivata na kvaliteto pitne vode. Tudi fosfati, analizirani sicer samo dvakrat, so določeni pod MDK.



Sl. 12: Odvisnost med pretokom in skupno trdoto izvira Kajža

Fig.12: Dependence between discharge and total hardness of Kajža spring

Voda izvira Kajže spada med mehke do zmerno trde vode. Skupna trdota niha med 7,6 in 10,0 °NT. Večji del, 84 do 99,3 %, predstavlja karbonatna trdota. Kalcij je določen v koncentracijah od 52,1 do 67,1 mg/l in močno prevladuje nad magnezijem, ki ga je le 0,43 do 4 mg/l. Zato je razmerje Mg/Ca (v meq) zelo nizko in niha od 0,04 do 0,10, kar kaže na zelo čisto apnenčevo zaledje. Hidrokarbonatni ion niha od 140 do 209 mg/l. Kajža ima vodo kalcijevo-hidrokarbonatnega tipa. Nobeden od drugih ionov ne doseže 10 %.

Koncentracije kalija med 0,7 in 1,2 mg/l so običajne za naše kraške vode. Nekoliko več, do 8 mg/l, je natrija.

Zavod za zdravstveno varstvo - Center za varstvo okolja Maribor je izdelal razširjeno kemijsko analizo vzorca Kajže, odvzetega 13.6.1988. Poleg standardne analize so bili določeni še:

- fenolne snovi (skupne) - pod MDK
- redki elementi in težke kovine  $\text{Cr}^{6+}$ , Al, As, Cu, Ba, Be, B, Zn, Cd, Co,  $\text{Cr}^{3+}$ , Mn, Mb, Ni, Se, Ag, Pb, Fe, Hg) - vsi pod MDK
- pesticidi - pod MDK
- policiklični aromatski ogljikovodiki - pod MDK
- lahkoahlapne organske snovi - pod MDK

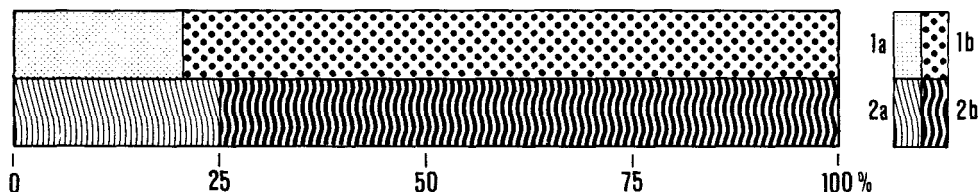
Za ugotavljanje odvisnosti v pojavljanju in koncentracijah posameznih komponent kemične sestave potrebujemo istočasne podatke o koncentracijah, pretokih izvira in padavinah v zaledju. Občasno odvzeti vzorci nam ne morejo dati podatkov za trdnjše sklepe. Iz dosedanjih analiz Kajže je razvidno:

- da niha temperatura izvira v odvisnosti od letnih časov, znotraj krajših časovnih obdobij pa nanjo vpliva tudi pretok,
- motnost je v izraziti odvisnosti od pretoka, oziroma padavin,
- pri sulfatih se kaže premosorazmerna odvisnost od pretokov, pri kloridih pa nekoliko manj,
- pri nitratih se kaže težnja k povečanju koncentracije v daljših obdobjih upadanja in po hitrih dvigih pretoka,
- s povečanjem pretoka po deževju znatno upadejo skupna in karbonatna trdota, hidrokarbonati, kalcij, magnezij in tudi kloridi, zvišajo pa se temperatura, sulfati in kemična potreba po kisiku.

### **Bakteriološka kvaliteta Kajže**

Poleg motnosti je bakteriološka oporečnost največja ovira pri zagotavljanju kvalitete pitne vode iz izvira Kajža. Med leti 1983 in 1988 je bilo odvzetih skupaj 24 bakterioloških vzorcev. Med njimi je pet (20,8 %) neoporečnih. 75 % vzorcev vsebuje bakterije fekalnega izvora (sl. 13).

Bakteriološka kvaliteta izvira je v tesni zvezi z dežjem v zaledju in pretokom izvira. Slika 14 kaže močan porast MPN skupnih koliformnih bakterij in skupnega števila aerobnih mezofilnih bakterij po hitrem povečanju pretoka izvira. Z upadanjem pretoka se zmanjšuje tudi bakteriološka onesnaženost. Bakteriološka oporečnost je dosedaj ugotovljena do pretoka 19 l/s, pri manjših pretokih pa je bil izvir neoporečen (sl. 15).



Sl. 13. Bakteriološka kvaliteta Kajže med leti 1983 in 1988. 1a - neoporečni bakteriološki vzorci, 1b - oporečni bakteriološki vzorci, 2a - vzorci brez bakterij fekalnega izvora, 2b - vzorci z bakterijami fekalnega izvora

Fig.13: Bacteriological quality of the Kajža spring between 1983 and 1988. 1a - suitable bacteriological samples, 1b - unsuitable bacteriological samples, 2a - samples without faecal bacteria, 2b - samples with faecal bacteria

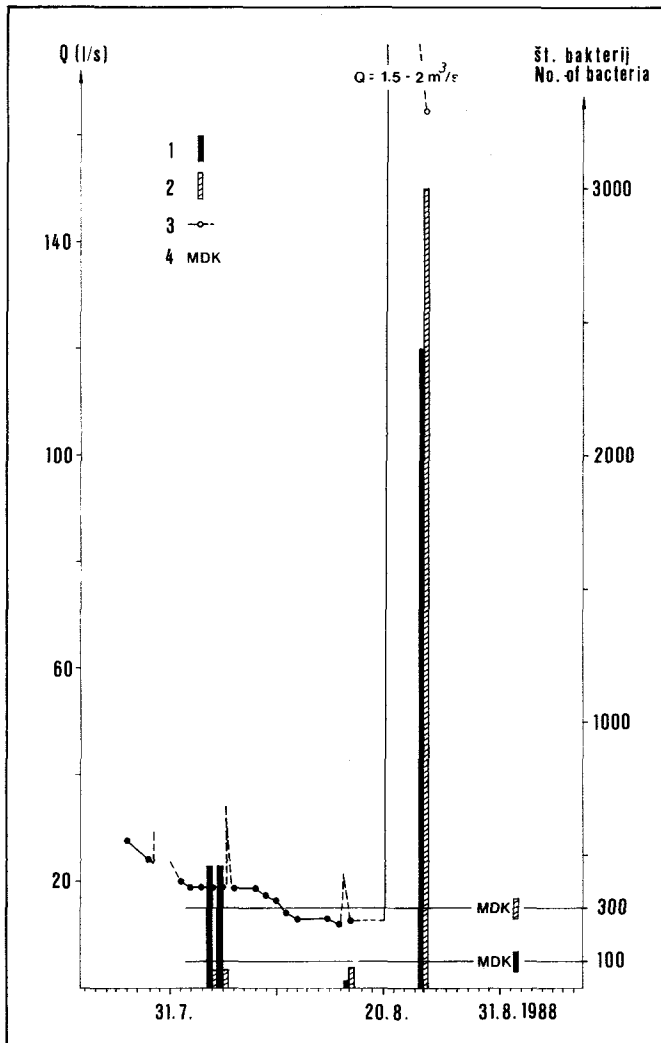
Na podlagi dosedaj odvzetih vzorcev ni mogoče sklepati na odvisnost med bakteriološko kvaliteto Kajže in letnim časom, ki bi lahko kazala na povečano onesnaženje v posameznih letnih obdobjih. Oporečni vzorci se dokaj enakomerno pojavljajo skozi vse leto.

## HIDROLOŠKO ZALEDJJE IZVIRA KAJŽA

Površino hidrološkega zaledja kraškega izvira določamo na osnovi geoloških in hidrogeoloških podatkov (geološka zgradba, sledilni poskusi), v pomoč pa so nam tudi različne metode hidroloških izračunov. Hidrološki izračuni zahtevajo kvalitetne vhodne podatke, vsaj enoletne meritve pretoka izvira in dnevne padavinske podatke (Bonacci, 1986). V primeru pomanjkljivih podatkov si v prvi topnji pomagamo s preprostejšimi metodami izračunov, npr. z minimalnim specifičnim odtokom ali s pomočjo *Turcove* metode (1954) za izračun evapotranspiracije, ki pa zaradi reduciranja vhodnih podatkov in njihove variabilnosti dajeta samo orientacijske vrednosti. Za Kajžo smo z upoštevanjem naslednjih vhodnih podatkov:

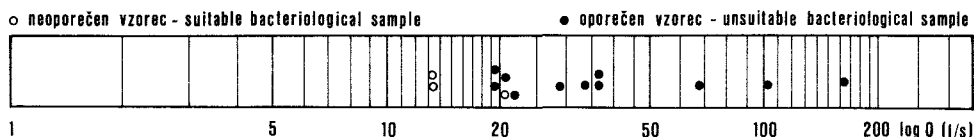
najmanjši pretok izvira:	7 l/s,
srednji letni pretok izvira:	med 28,6 in 101,8 l/s,
minimalni specifični odtok:	med 3 in 10 l/s/km <sup>2</sup> ,
srednje letne padavine (iz podatkov za Kal nad Kanalom, Lokve, Trnovo, Čepovan, Skalnico, Kanal-Morsko):	med 2102 in 2133 mm,
srednja letna temperatura zraka:	8°C,

dobili površino hidrološkega zaledja: med 0,6 in 2,3 km<sup>2</sup>.



Sl. 14: Primerjava med pretokom Kajže, MPN skupnih koliformnih bakterij in skupnim številom aerobnih mezofilnih bakterij. 1 - MPN skupnih koliformnih bakterij v 100 ml, 2 - skupno število aerobnih mezofilnih bakterij v 1 ml, 3 - pretok, 4 - maksimalna dopustna koncentracija za pitne vode

Fig.14: Comparison between the Kajža spring discharge, MPN of coliforms and total number of aerobic mezophilic bacteria. 1 - MPN of coliforms in 100 ml, 2 - total number of aerobic mezophilic bacteria, 3 - discharge, 4 - maximal permissible concentration in drinking water



Sl. 15: Odvisnost bakteriološke kvalitete Kajže od pretoka

Fig.15: Dependence between bacteriological quality and discharge of the Kajža spring

### Hidrogeološka interpretacija zaledja

Razporeditev izvirov v dolini Avščke je zelo značilna. Vezani so na prepustnejše razpoklinske cone, ki so med seboj ločene z manj prepustnimi zdrobljenimi in sem in tja porušeni conami. Široko, močno razpoklinsko območje v zaledju izvira Kajža je s severozahodne strani omejeno s porušeno in zdrobljeno brečasto cono, ki je v svojem severnem delu, v bližini Avškega preloma, zelo slabo ali praktično neprepustna, južno od tod, pod robom Banjske planote, pa skoraj gotovo prepustna, tako da se voda nemoteno pretaka iz enega bloka v drugega (sl.1).

Tudi z jugovzhodne strani je razpoklinsko območje Kajže omejeno s slabo ali le delno prepustno široko zdrobljeno in porušeno cono, ki se odcepi od Banjskega preloma na območju Zabrd in se zahodno od Lazov priključuje na Avški prelom.

Izvira v Lazah (13) in pri Gorjupu (14) sta po svoji izdatnosti lokalnega pomena. Poleg vode neposrednega zaledja jih napaja voda, ki se skozi prepustnejše cone "izgublja" iz podzemeljskih tokov proti Bolterjevemu zdencu in izviru Pri Kajži.

Iz sl.1 vidimo, da ima pomembno hidrološko vlogo tudi široka in neprepustna brečasta ožja prelomna cona Avškega preloma, ki poteka po dolini Avščke. Vsi izviri se nahajajo zunaj nje v manj pretrtih območjih.

Iz geoloških razmer, razporeda izvirov in njihove izdatnosti sklepamo, da obstajajo globoko v zakraselem spodnjekrednem apnencu v podlagi Banjske planote proti posameznim izvirom usmerjeni, bolj ali manj samostojni vodni tokovi. To domnevo potrjuje tudi odkritje kraškega kanala na izviru Kajže in rezultati poskusnega črpanja. Ne glede na dejansko stanje, je potrebno poudariti, da so porušene cone v zaledju izvirov v dolini Avščke slabše prepustne in tako pomembni usmerjevalci vode, ki ustvarjajo osnovne pogoje za obstoj ločenih vodnih tokov.

Inštitut za raziskovanje krasi je leta 1980 izvedel sledenje Čepovanskega potoka (Habič, 1982). Uranin, ki so ga 9.9.1980 zlili v ponor Čepovanskega potoka, se je čez mesec dni (10.10.1980) pojavil v Bolterjevem zdencu. Za izvir Kajža povezava s

Čepovanom ni bila ugotovljena. Če zgornje ugotovitve veljajo, potem lahko sklepamo, da napajajo Bolterjev zdenec in izvir Kajža ločeni podzemski vodni tokovi. K zaledju Bolterjevega zdenca pa moramo vsaj občasno - morda le pri določenih hidroloških pogojih - delno prišteti tudi zaledje Čepovanskega potoka.

Območje Kanalskega Vrha je Habič prišteval k zaledju Mrzleka že leta 1982 (Habič, 1982). Tudi novo hidrogeološko kartiranje kaže, da voda skoraj gotovo odteka proti Mrzleku. Najtrdnější dokaz za to trditev pa moramo iskati v sledilnem poskusu na dveh ponikalnicah (I, III) pri Kanalskem Vrhu (Habič, 1987), pa tudi v barvanju Jazbenka (Hribar, Habič, 1959). Obe barvanji sta bili izvedeni z zadostno količino barvila in zadosti dolgo opazovalno dobo, vendar barvila ni bilo v nobenem od izvirov ob Avščku. Pri tem Mrzlek ni bil opazovan.

Tabela 4: Rezultati dosedanjih barvanj v zaledju Kajže

izvir	Bolterjev zdenec		Kajža
	t (dni)	hitrost (m/h)	
ponikalnica			-
Čepovski potok	28	11,6	-
Kanalski vrh	-	-	-
Jazben	-	-	-

Razvodnica, ki razmejuje hidrološko zaledje Kajže in zaledje Mrzleka, je vzhodno od Kanalskega Vrha, na območju Belega brda, površinska in zaokroža planotast svet Kanalskega Vrha. Med flišnim obrobjem južno od Kanalskega Vrha in Lohkami (območje Goleka) poteka podzemna kraška razvodnica. Po dosedanjih ugotovitvah pripada Jazbenk skoraj gotovo zaledju Mrzleka, medtem ko območje med Goleškim in Banjškim prelomom lahko zaenkrat smatramo za dvojno zaledje (Kajža, Mrzlek), saj nimamo dokazov, ki bi nedvoumno kazali pripadnost enemu ali drugemu. V okolici Lohk je meja zaledja Kajže enaka površinski meji zaledja izvirov Lošček I in II (5,6). Na Banjšicah je površinska razvodnica verjetno zelo blizu resnični hidrogeološki razvodnici. V pobočju med Mrcinjami in dolino Avščka ima razvodnica orografski in delno hidrogeološki značaj. S hidrogeološko interpretacijo določeno zaledje izvira Kajža ima površino 7 km<sup>2</sup> (torej precej večjo, kot jo nakazujejo orientacijski hidrološki izračuni) pri čemer pokriva višea flišna pregraja 2,9 km<sup>2</sup>, 1,8 km<sup>2</sup> je kraškega površja in 2,3 km<sup>2</sup> t.i. dvojnega zaledja.

## VARSTVENA OBMOČJA

Glede na rezultate sledenja ponikalnic, rezultate geološkega kartiranja in reliefne razmere smo za zaščito izvira Kajža določili širše (3. cona), ožje (2. cona) in najožje varstveno območje (1.a in 1.b cona).

Širše varstveno območje je namenjeno zaščiti pred močnim organsko-biološkim onesnaževanjem in preprečitvi onesnaževanja s trajnimi, bolj ali manj nerazgradljivimi

nevarnimi snovmi. Kriteriji, ki smo jih uporabili za določitev širšega varstvenega območja so: več kot 12 ur časa za preprečitev vstopa nevarne snovi v vodovodni sistem; slabše prepustna območja v bližini vodnega vira; območja s površinskim odtokom v zaledju požiralnikov z direktno zvezo z izvirom; neprepustna območja s prostorsko omejenimi prepustnimi vložki (J a n e ž, 1987-1989). V širše varstveno območje smo uvrstili celotno flišno površje s površinskim odtokom v ponikalnice Mlaka pri Mrcinjah, flišno površje nad dolino Avščka (Zabrdo - Pri cerkvi) in del flišnega površja vzhodno od Kanalskega Vrha (Belo brdo), ki gravitira proti Kajži. Območje Kanalskega Vrha smo izločili iz zaledja na osnovi sledilnega poskusa (Habič, 1987). Na Banjšicah določa mejo širšega varstvenega območja površinska razvodnica na flišu. Na zahodni strani od Lohk do območja Pri cerkvi je meja hidrogeološka - stik fliša in krednih apnencev.

Namen ožjega varstvenega območja je stroga sanitarna zaščita pred organsko biološkim onesnaževanjem. Vanj smo uvrstili kraška območja po naslednjih merilih velike ogroženosti: manj kot 12 ur intervencijskega časa za preprečitev vstopa nevarne snovi v vodovodni sistem; ni časa za preprečitev vstopa nevarne snovi v vodonosnik; dobro prepustne zakrasele cone z neposredno zvezo z izvirom, odprte razpoklinske cone z glavnimi in stranskimi tokovi proti zajetju (J a n e ž, 1987-1989). V ožje varstveno območje smo uvrstili celotno kraško površje v zaledju Kajže, med flišem Banjšic in flišem Kanalskega Vrha. Kraško površje severovzhodno od Banjškega preloma pripada zaledju Kajže glede na geološko zgradbo in usmerjenost tektonsko pretrtih sistemov. Za območje med Banjškim in Goleškim prelomom in za območje jugozahodno od Goleškega preloma (območje Goleka) pripadnost zaledju Kajže ni dokazana in ga obravnavamo kot dvojno zaledje Kajže in Mrzleka. V ožje varstveno območje smo to območje uvrstili na podlagi načela, da področjem z nedokazano pripadnostjo zaledju pripišemo tisto varstveno območje, ki bi veljalo glede na obstoječe hidrogeološke razmere v primeru dokazane zveze.

V varstvenem območju z najstrožjim režimom (1.a in 1.b cona) so omejene vse dejavnosti, ki so ogrožajoče za kvaliteto vode in vodne količine. Ograjeno območje okoli zajetja (1.a cona) ščiti vodni vir pred namernim onesnaženjem. Za omejitev 1.b cone smo uporabili pogoje katastrofne ogroženosti: po pojavu onesnaženja praktično ni časa (do 4 ure) za preprečitev vstopa nevarne snovi v vodovodni sistem (J a n e ž, 1987-1989). Vanj smo uvrstili najbolj prepustne cone v neposrednem zaledju vodnega vira, to je območje odprtih razpoklinskih con v pobočju južno nad izvirom (0,6 km<sup>2</sup>). 1.a cona z najstrožjim režimom obsega najožje ograjeno okolico izvira Kajža z oddaljenostjo 10 do 50 m od zajetij, odvisno od morfologije terena.

## SKLEP

Kraški izviri v dolini Avščka, med katerimi je Kajža največji, ležijo 190 do 240 m visoko, na severozahodnem obrobju obsežnega kraškega vodonosnika Banjške planote. Ta je litološko enotno zgrajen iz krednih apnencev približno enake prepustnosti. Paleocenski in eocenski fliš Banjšic, Kanalskega vrha in Grgarja leži na apnecih in v hidrogeo-



loškem smislu predstavlja lokalno prepustno visečo pregrado, na smer odtekanja voda pa v glavnem ne vpliva, razen tam, kjer seže do dna obrobnih dolin, kot med Avčami in Desklami. Tako je večji del kraškega podzemnega odtoka z Banjške planote v zasičeni in nezasičeni coni usmerjen proti Mrzleku. Viseči fliš nam je s svojimi majhnimi, a številnimi izviri in ponikalnicami v veliko pomoč pri odkrivanju kraškega hidrološkega sistema, smeri odtekanja voda in določanju hidroloških zaledij, kar je predvsem pomembno za varovanje kraških vodnih virov. Kajža in drugi izviri v dolini Avščka so iztoki iz kraškega pasu med regionalnim Avškim prelomom in vzporednimi dinarsko usmerjenimi prelomi, predvsem Banjškim in Goleškim. Na to kaže usmerjenost veznih prettrih con med Avškim in vzporednimi prelomi na Banjški planoti in rezultati barvanj (pojav barvila, injiciranega v Čepovanskem potoku, v Bolterjevem zdencu; barvilo injicirano v ponoru Jazbenk in ponikalnicah pri Kanalskem vrhu, zunaj tega pasu, Kajže ni doseglo). Hidrološki režim in bakteriološke ter fizikalno kemične lastnosti Kajže tej ugotovitvi ne nasprotujejo.

V prelomni coni Avškega preloma je tok podzemne vode proti Kajži in Bolterjevemu zdencu v splošnem usmerjen po širokih razpoklinskih conah vzporedno z manj prepustnimi zdrobljenimi in porušeni conami, lokalno pa je tudi prečen. Tako izteka voda na izviru Kajža iz odprtih razpok, ki so prečne na močnejše prettrne prelomne deformacije. Podzemni odtok proti Mrzleku pa očitno preseka močne, dinarsko usmerjene prelome. Pri tem podrobne zgradbe večjih prelomov, na primer Raškega, ne poznamo. Avški prelom ima v območju izvira Kajža dokaj široko zdrobljeno cono in je neprepusten. Zveza Čepovanskega potoka z Mrzlekom in Bolterjevim zdencem pa dokazuje tudi njegovo prečno prepustnost. Kje so te prepustne cone, še ne vemo.

Dodatno pojasnilo k hidrogeološki vlogi prelomnih sistemov in k omejitvi zaledij Mrzleka in Kajže nam bi dalo barvanje ponikalnic na flišu na Banjšicah (Mlaka pri Mrcinjah), ki so v področju med Banjškim in Goleškim prelomom. Skoraj v istem tektonskem položaju so ponikalnice pri Kanalskem vrhu, ki v Kajžo očitno ne tečejo. Previdemo, da so ponikalnice na poseljenem območju Banjšic povezane z izvirom Kajža (zaradi njene slabe bakteriološke kvalitete), možen pa je tudi odtok proti Mrzleku. Za ponikalnice na flišu južno od Lohk (Vodice, Sveto) lahko po litološko tektonski zgradbi trdneje sklepamo, da ne odtekajo več v Kajžo.

## LITERATURA

- Bonacci, O., 1986: Površina sliva kraških izvora. Zbornik ref. jug. sav. "Zaštita izvorišta voda za vodoopskrbu", Split 1986, 227-240. Zav. za tehn. izobr. Ljubljana.
- Buser, S., 1986: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Tolmin - Videm s tolmačem. Zvezni geološki zavod Beograd.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica* 10 (1981), 75-105, Ljubljana.
- Čar, J., Gospodarič, R., 1984: O geologiji krasi med Postojno, Planino in Cerknico. *Acta carsologica* 12 (1983), 91-106, Ljubljana.

- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. SAZU, Inštitut za geografijo, 11, 1-243, Ljubljana.
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. Acta carsologica 10 (1981), 45-73, Ljubljana.
- Hribar, F., Habič, P., 1959: Jazben, kat. št. 1024. Naše jame, I/2, 58-64, Ljubljana.
- Kossmat, F., 1908: Beobachtungen über den Gebirgsbau des mittleren Isonzgebietes. Verh. Geol. R.A., Wien.
- Kossmat, F., 1909: Der küstenländische Hochkarst und seine tektonische Stellung. Verh. Geol. R.A., Wien.
- Kossmat, F., 1920: Spezialkarte der österreichungarischen Monarchie, Blatt Tolmein 1:75.000. Geol.Staatsanst., Wien.
- Mijatović, B.F., 1968: Metoda ispitivanja hidrodinamičkog režima kraških izdani pomoću krive pražnjenja i fluktuacije nivoa izdani u recesionim uslovima. Vesnik Zav. geol. geof. istr., B 8, 43-81. Beograd.
- Pavšič, J., 1979: Zgornjekredni in paleocenski apneni nanoplankton v Posočju. Geologija 22, 225-276, Ljubljana.
- Pavšič, J., 1981: Nanoplanktonska biostratigrafija krednih in paleocenskih plasti Slovenije. Rud.-metal. zbornik 28/4, 369-382, Ljubljana.
- Pavšič, J., Pleničar, M., 1981: Danijske plasti v Sloveniji. Simpozij o problemih danijskega. Zbor. ref., Ljubljana.
- Stache, G., 1889: Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte. Abh. Geol. R.A. 13, Wien.
- Stur, D., 1858: Das Isonzo Thal von Flitsch abwärts bis Görz, die Umgebung von Wippach, Adelsberg, Planina und Wochein. Jahrb. Geol. R.A., 324-366, Wien.
- Tomić, V., 1981: Vodonosnost ispucalih stena i hidrogeološka svojstva pukotinskih izdani u nekim našim terenima. 1-128. OOUR grupa za hidrogeologiju Rud.-geol. fakult. Beograd.
- Turc, L., 1954: Le bilan d'eau des sols: relations entre les precipitations et l'ecoulement. Inst. Nationale de la Recherche Agronomique. Paris.
- Turnšek, D., Buser, S., 1974: Spodnjekredne korale, hidrozoji in hetetide z Banjške planote in Trnovskega gozda. Razprave IV. raz. SAZU, 17/2, 83-155, Ljubljana.

### Neobjavljena dela

- Habič, P., 1966: Hidrološka analiza visokega krasi med Idrijco in Vipavo. V poročilu: Habič, P., Gospodarič, R., 1966: Hidrologija krasi med Idrijco in Vipavo, II. faza. Tipkano poročilo. Arhiv IZRK ZRC SAZU Postojna.
- Habič, P., 1987: Sledenje ponikalnic na Kanalskem vrhu. Določitev hidroloških zaledij visečih izvirov Banjške planote. Tipkano poročilo. Arhiv IZRK ZRC SAZU Postojna.
- Habič, P., s sod., 1976: Speleološka karta Slovenije, Tolmin 4, 1:50.000. Tipkopis, 1-90. Arhiv IZRK ZRC SAZU Postojna.
- Habič, P., s sod., 1984: Hidrografsko zaledje in možnosti zaščite kraških izvirov Podroteje in Divje jezero. Posebno poročilo v: Janež, J., Čar, J., 1984, Hidrogeološke raziskave Črnovrške planote, Godoviškega podolja, Javornika in Križne gore, II. del. Arhiv RŽS Idrija.
- Janež, J., 1987-1989: Metodologija določitve varstvenih območij in pasov ter zaščite podzemne vode v kamninah. Študija v tipkopisu, I-III. Arhiv RŽS Idrija.

## KARST SPRING KAJŽA AND ITS HYDROLOGICAL BACKGROUND

### Summary

#### Geological conditions on the north-western part of Banjšice plateau (Fig.1)

North-western part of 600 to 800 m high Banjšice plateau is built by Cretaceous and Palaeocene rocks. The oldest rock is non-bedded, white to light grey, rarely dark grey organogene limestone of Barremian and Aptian age (Buser, 1986), often with inliers of micritic and oolitic limestone and limestone breccia. Organogene skeletal framework is built by corals, hydrozoans and chaetetids (Turnšek, Buser, 1974). In Golek area the lateral transition from reef limestone to dark-grey, grey bituminous bedded limestone of the same age can be seen. Basal block like limestone breccia is lying discordantly to the Lower Cretaceous limestones. Upwards red marl limestone of Maastrichtian age (Pavšič 1979, Buser, 1986) follows here and there. Flysch rocks are lying on the limestone breccia and red marl limestone. Pavšič (1979, 1981) characterized them as the Palaeocene rocks, while Buser (1986) defined the Palaeocene and Maastrichtian age. Flysch on Banjšice is composed by beds of grey sand marl, reddish marl and sandstone, massive hand marl and lenses of limestone conglomerate and sandstone.

On lithologic-tectonical map (Fig. 1) crushed, broken and fissured zones were distinguished by the method of the detailed mapping of crushed zones on karst (Čar, 1982, Čar, Gospodarič, 1984). The mapped region lies in the broader fault zone of the regional Avče fault (named also Predjama fault or Avče-Dol fault). In its narrow fault zone, which is presented by compact tectonic breccia, the broad Avčček valley was formed. Among parallel subvertical faults, Banjšice fault and the Golek fault are stronger. Banjšice fault and Avče fault are connected by expressive and hydrogeologically very significant system of connecting crushed zones.

#### The hydrogeological conditions

The Lower Cretaceous limestones on Banjšice plateau are deeply karstified, without superficial water and sinking streams, and with springs at the bottom of the side-valleys. Flysch represents the local permeable hanging hydrogeological barrier. The superficial water-net on flysch is distributed into smaller separated sinking streams fed by weak springs. The water mostly flows after a short superficial flow through permeable carbonate inlayers into deeply karstified bedrock. The conditions on Banjšice plateau are presented by the following relations between the crush degree, rock type, and permeability.

On the hanging flysch barrier in Lohke, Mrcinje and Kanalski Vrh area the springs are strictly connected with normal or tectonic contact between inlayers of limestone breccia or sandstone, and beds of flysch marl or chert sandstone. The spring discharges at low waters are under some dl/s. Stronger discharges have springs in the fault zone, which connects two or more carbonate lenses in flysch. The springs are bacteriologically unsuitable, because the flysch surface is agriculturally cultivated.

crush degree	in limestones	in flysch rocks
crushed zone	impermeable* or poorly permeable	impermeable
broken zone	poorly permeable	impermeable or partly permeable
fissure zone	well or extremely well permeable	partly permeable*

\*occurs at special conditions

Weak springs are gathered in small brooks. After short superficial flow they sink again into thin carbonate inlayers in flysch. At big rains the swallow-holes can't swallow all the water. It stagnates for a while on the surface or flows towards distant swallow-holes in limestone. There are three swallow-holes (I-III) near Kanalski Vrh and four (IV-VII) near Mrcinje.

Many valley springs emerge in the Lower Cretaceous limestones in Avšček valley. The biggest among them are Bolterjev zdenec (discharge from 3,5 l/s to 1 m<sup>3</sup>/s) and the Kajža spring.

### The spring of Kajža (Fig. 2)

The Kajža spring area includes three springs (Kajža I, Kajža II, Kajža III) at 191 m a.s.l. At high waters also higher open fissures are active. The spring was formed on the contact between the Lower Cretaceous limestones and about 20 m wide crushed zone of Avče fault. The Avšček spring valley is also filled with some meters thick fluvial well clayey medium and coarse-grained gravel. The water from the spring Kajža flows mostly out of the 15 cm wide open fissure (Fig. 3). On Kajža II water emerges from the filled karst channel on the border of 3 to 4 m wide crushed zone in the Lower Cretaceous limestone (Fig. 4). The springs Kajža II and Kajža III work like over-flows for high karst waters. It is interesting, that 150 m downstream there are some over-flow springs at high waters. They lie lower than the constant springs of Kajža.

On the spring of Kajža we measured discharges in 1984 periodically (Tab. 1) and more frequently in the summer and autumn 1985 (Fig. 5) and 1988 (Fig. 7). The minimal measured discharge was 7 l/s. The maximal discharge was estimated from 1,5 to 2 m<sup>3</sup>/s at 21/8-1988. It was a result of the maximum precipitations that reached 222,7 mm in Čepovan.

The discharge during recession between 4/9 and 28/10-1985 lasted 54 days (Fig. 5). The calculated drainage coefficients are  $\alpha_1 = 1,11$ ,  $\alpha_2 = 0,31$ ,  $\alpha_3 = 0,022$  and  $\alpha_4 = 0,043$  (Fig. 6).

The coefficient  $\alpha_4$  is bigger than  $\alpha_3$  due to the low precipitation quantities (15/9 - 4,5 mm, 26/9 - 6,7 mm). From the same reason the discharge decreases in the third microregime was nearly stopped. In 54 days 58.083 m<sup>3</sup> of water ran off the spring. The mean discharge was therefore 12,45 l/s. If the recession had continued, the spring would have run out of water in 125 days from the beginning of the discharge decrease.

We mapped the fissures around the spring and calculated (the calculation was based on Tomić's work from 1981) the effective porosity of karst aquifer in the spring area. The effective porosity 4 %.

11/11-1988 a short pumping test was realised in building-pit at the spring of Kajža. The natural discharge was then 10,2 l/s. After two hours and 48 minutes of pumping the discharge between 43,7 and 48,3 l/s the water level decreased for 280 cm to the bottom of the building-pit. From that moment the pump with the discharge of 11,8 l/s kept the building-pit dry for 4 hours. The water level in Kajža II spring which was used as the natural piezometer, began to decrease contemporary but slower. The Kajža III spring also reacted on pumping and ran out of water rapidly. The water level in the building-pit was increasing for 2 hours and 7 minutes. At the end of the pumping test the spring discharge reached the initial value of 10,2 l/s (Fig. 9). The pumping test showed some characteristics of karst hydraulic system of Kajža. The distinctive increase of the slope of the lowering curve (Fig. 10) indicates on the impermeable bedrock. At least in the direct hydrological background of the spring there is no extensive karst accumulation, so water flows from relative narrow system of open fissures or karst channels.

Fictitious transmissibility of karst aquifer was calculated from data of natural decrease of water level during the recession (Fig. 8) and from data of decrease during the pumping and water level increase after pumping (Fig. 10). The calculated values are adequate.

The data source	fictitious transmissibility
recession 4,9 - 28.10.1985	$1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1443 \text{ m}^2/\text{day}$
pumping test ( $s = f(\log t)$ )	$1,73 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1497 \text{ m}^2/\text{day}$
water level increase ( $s = f(\log t)$ )	$1,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} = 1528 \text{ m}^2/\text{day}$

### Physico-chemical and bacteriological characteristics of spring Kajža

The water temperature during the year is from 7,0°C to 11,9°C. The highest mean temperatures are in September. In short time periods the water temperature oscillates due to the discharge changes for 1°C at the most.

The spring is muddy after rain. The highest measured turbidity was 487 mg SiO<sub>2</sub>/l. It decreases under maximal allowed concentration for drinking water at the discharge from 30 to 35 l/s, while the water is completely pure at discharges under 25 l/s (Fig. 11). The total hardness of spring Kajža oscillates between 7,6 and 10°NT. Carbonate hardness represents 84 to 99,3 % of total hardness. Calcium predominates over magnesium and the proportion Mg/Ca (in meq) is between 0,04 and 0,10. That indicates merely limestone background. The water hardness decreases with the discharge increase (Fig. 12).

Chemical indicators of organic pollution (ammonia, nitrites, nitrates, chemical oxygen demand) have low concentrations. Only nitrites were once established in concentrations bigger than one allowed by norms for drinking water. At nitrates the tendency to higher concentrations in periods of decrease and after rapid increases of the discharge can be seen. The consumption of KMnO<sub>4</sub> is the lowest at middle-low waters, it increases a little at very low discharge and reaches the highest values in samples taken after the rain.

Sulphate concentrations are between 2,8 and 8,1 mg/l and they increase at higher spring discharge.

Only 20,8 % of samples taken between 1983 and 1988 is bacteriologically suitable. Faecal bacteria was isolated in 75 % of samples (Fig. 14). The bacteriological quality of the spring is in close connection with precipitations in the hydrological background and with the spring discharge. Fig. 15 shows a great enlargement of MNP of coliforms and total number of aerobic mesophilic bacteria after rapid increase of spring discharge. Regarding to decrease of the spring discharge during the recession, decreases also the bacteriological pollution. At discharges over 19 l/s the water is bacteriologically unsuitable, although it is suitable at lower discharges (Fig. 16).

### Hydrological background of the spring Kajža

Geological conditions, disposition of the springs and their discharges indicate to more or less independent water flows with orientation to the single springs in the Lower Cretaceous karstified limestone in the ground of Banjšice plateau. This supposition was confirmed by the discovery of the karst channel on Kajža spring and the pumping test results. Irrespective of the actual state we must accentuate, that the broken zones in the background of springs in Avšček valley are less permeable and they are therefore important water regulators. They create basic conditions for existence of the separated water flows.

The Institute for Karst Research realised in 1980 the water tracing test of Čepovan brook (Habič, 1982). Uranine injected on 9/9-1980 into the swallow-hole of Čepovan brook, appeared after a month (10/10-1980) in Bolterjev zdenec. For the spring Kajža the connection wasn't established. That indicates a conclusion that the spring Kajža and Bolterjev zdenec collect the water from separated underground water flows.

The Kanalski vrh area most likely belongs to the Mrzlek background. The strongest proofs for this statement are the water tracing test on two sinking-streams (II, III) near Kanalski vrh (Habič, 1987) and dyeing of the Jazbenk (Hribar, Habič, 1959). At both dyeings enough dye was used and the observation period was long enough, too. However, the dye did not appear in any spring near Avšček (Mrzlek wasn't observed).

Results of the dyeings realised till now in the background of Kajža spring.

the spring	Bolterjev zdenec		Kajža
	t(days)	speed (m/h)	
the sin king-stream			-
Čepovan spring	28	11,6	-
Kanalski vrh	-	-	-
Jazben	-	-	-

The watershed between hydrological background of Kajža and hydrological background of Mrzlek is eastern from Kanalski vrh and Belo brdo area is superficial watershed. Between flysch surroundings southern from Kanalski vrh and Lohke (Golek area) is placed the underground karst watershed. The facts established till now prove, that Jazbenk belongs to the background of Mrzlek. The area between Golek fault and Banjšice fault is now considered as double background (Kajža, Mrzlek), because there are no sure arguments to declare for one background or for the other. The superficial watershed on Banjšice is probably very close to the real hydrological

watershed. In the slope between Mrcinje and the Avšček valley the watershed has an orographical and partly hydrogeological character. The background of Kajža spring, defined with the hydrogeological interpretation, embraces the area of 7 km<sup>2</sup>, where the extent of the hanging flysch barrier is 2,9 km<sup>2</sup>, of the karst surface 1,8 km<sup>2</sup> and of the so called double background 2,3 km<sup>2</sup>.

### The protection areas

The hydrological background of Kajža spring is classified into three protection areas: the broader protection area (3rd zone), the narrow protection area (2nd zone) and the most narrow protection area (1st a and 1st b zone).

The broader protection zone serves for protection against intensive organo-biological pollution and to prevent the pollution with the permanent dangerous goods. The following criteria were used for the definition of the broader protection zone more than 12 hours to prevent the entrance of dangerous goods into water-works system; the poorly permeable areas in the vicinity of water source; areas with the superficial run-off in the background of the swallow-holes directly connected with the spring; impermeable areas with the permeable inlayers limited in the space (Janež, 1987-1989). In the broader protection area we classified the entire flysch surface in the background of the Kajža spring.

The intention of the narrow protection zone is a strict protection from the organo-biological pollution. For the karst areas the following criteria were used: less than 12 hours to prevent the entrance of dangerous goods into the aquifer; the open fissure zones with main and lateral streams towards the water capture (Janež, 1987-1989). Into the narrow protection zone we classified the entire karst surface in the background of the Kajža spring. Regarding the geological setting and the orientation of the tectonically crushed systems the karst surface north - eastern from the Banjšice fault belongs to the background of the Kajža spring. There is no proof, that the karst surface between Banjšice fault and Golek fault and the area south-western from the Golek fault belong to the background of Kajža spring. Therefore it is treated as a double background of Kajža and Mrzlek.

In the protection area with the most rigorous regime (1st a and 1st b zone) all the activities reducing the water quality and quantity are restricted. The fenced area around the water capture (1st a zone) protects the water source against the intentional pollution. For the limitation of the 1st b zone the criteria of catastrophical threatening were used: after the appearance of the pollution there is practically no time (up to 4 hours) to prevent the entrance of the dangerous goods into the waterworks system (Janež, 1987-1989). The most permeable area of open fissure zones in the southern slope above the spring (0,6 km<sup>2</sup>) is classified into this protection area.

Translated by: Metka Petrič

# **ZNAČILNOSTI PRETAKANJA PADAVIN SKOZI STROP TABORSKE JAME.**

**THE PROPERTIES OF THE PRECIPITATIONS SEEPING  
THROUGH THE TABORSKA JAMA ROOF**

**Janja KOGOVŠEK**



**Izvešček**

UDK 556.34(497.12)

**Kogovšek, Janja: ZNAČILNOSTI PRETAKANJA PADAVIN SKOZI STROP TABORSKE JAME**

Prispevek podaja rezultate večletnih opazovanj prenikle vode v Taborski jami. Podane so osnovne karakteristike različnih tipov kapljanj in curkov še neonesnažene vode. Podrobno je obdelana reakcija najizdatnejšega curka v jami na intenzivne padavine. Ugotovljena je intenzivnost izločanja sige prek leta.

**Abstract**

UDC 556.34(497.12)

**Kogovšek, Janja: THE PROPERTIES OF THE PRECIPITATIONS SEEPING THROUGH THE TABORSKA JAMA ROOF**

The contribution presents the results of several years observations of water percolating in Taborska jama. Given are the main characteristics of different types of dripping and water trickles, not yet polluted. The reaction of the most yielding trickle to intensive rainfall is presented in detail. The measurements of flowstone precipitate supply the intensivity of flowstone deposition over the year.

Naslov - Address

mag. Janja Kogovšek, dipl.ing.chem., razisk. svetnik  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
Titov trg 2 YU - 66230 Postojna

## V s e b i n a

Uvod.....	143
Mesta vzorčevanja in metodologija dela.....	143
Značilnosti prenikajoče vode.....	144
Podrobno spremljanje vodnega vala.....	149
Izločanje sige.....	154
Sklep.....	155
Literatura.....	155
The properties of the precipitations seeping through the Taborska jama roof (Summary).....	156



## UVOD

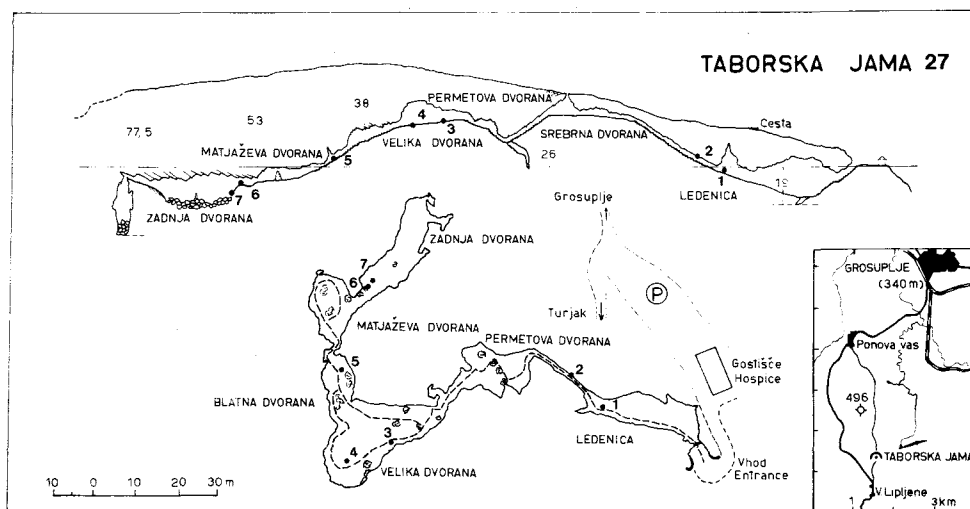
Taborska jama je izvotljena v NE krilu Taborske sinklinale, ki jo grade do 1 m debeli skladi liasnega apnenca. Skladi apnenca so prepreženi z razpokami in prelomi. Skupaj z lezikami in drugimi rupturami sestavljajo prepustno in pretrto kamnino, ki omogoča prenikanje padavin ter korozijsko in sedimentacijsko aktivnost prenikajoče vode. Jama je razvita v dveh etažah na nadmorski višini 450 in 425 m. Ker so aktivni ponori in izviri nižji, je aktivna etaža po Gospodariču nekje na višini okrog 400 m (1987). Po padavinskih podatkih za obdobje 1951 do 1980 za najbližji meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad in Lipoglav ocenjujemo letno količino padavin na tem območju na okoli 1400 mm.

## MESTA VZORČEVANJA IN METODOLOGIJA DELA

Že prva ogleda kapljanj in curkov v Taborski jami v namočenem in sušnem obdobju sta pokazala, da priteka v jamo v primerjavi s Planinsko, Postojnsko in Škocjanskimi jamami znatno manj prenikle vode. Razmere v Taborski jami bi lahko nekako primerjali z razmerami v Divaški jami, Vilenici in Dimnicah. Tudi v namočenih obdobjih prevladujejo v jami pretežno kapljanja. Le nekaterim pa bolj prepustni dovodniki omogočajo, da ob izdatnejših padavinah ta preidejo v manjše curke.

Vzdolž jame smo izbrali sedem karakterističnih stalnih kapljanj za nadaljnja redna opazovanja, da nam bi pojasnila dinamiko korozijskih procesov v jamskem stropu, kot tudi dogajanja pri prehodu te vode skozi jamo. Mesta zajema vzorcev so razvidna iz slike 1. Kapljanje oz. curek ob kaminu v Ledenici (1) priteka skozi dobrih 10 m, kapljanje na stopnicah (2) pa skozi 15 m debel strop. V cevko v Veliki dvorani (3) se voda scejja skozi 17 m kamnine. Opazovani curek v Blatni dvorani(5) in curka v Zadnji dvorani (6 in 7) pa pritekata v območju razpoklinske cone preloma, ki poteka od Blatne dvorane v Matjažev dvorano, le da je v Blatno dvorani strop debel dobrih 30 m, v Zadnji dvorani pa 50m. Večji izdatnosti teh treh curkov je verjetno vzrok obsežnejše zaledje, ki je pogojeno tudi z večjo debelino stropa.

S sistematičnimi meritvami smo začeli v letu 1987, ko smo približno enkrat mesečno vzorčevali na izbranih mestih. Zajeli smo značilna stanja preniklih voda v jami od najmanjših pretokov do velikih pretokov v času izdatnejših in dalj časa trajajočih padavin. Ocenjujemo, da smo zajeli značilna stanja minimalnih voda, da pa smo verjetno zgrešili marsikatero reakcijo izdatnejših curkov ob intenzivnih padavinah, posebno še, ker potek kapljanj oz. curkov ob padavinah sorazmerno hitro naraste in nato hitro upade. Ta opazovanja smo nadaljevali še v letu 1988 in delno v letu 1989.



Sl.1 : Mesta vzorčevanja preniklih voda v Taborski jami

Fig. 1 : Sampling points of seepage waters in Taborska jama

Vzorke smo analizirali po standardnih titrimetričnih in spektrofotometričnih metodah, kot so navedene v Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (1975) in v Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung (1989).

## ZNAČILNOSTI PRENIKajoČE VODE

### Pretoki in temperature

Vzorčevali smo pretežno nizke in srednje vode. Curek v Ledenici in kapljanje na stopnicah v Srebrno dvorano imata sorazmeren potek pretoka, le da dosega curek v Ledenici višje vrednosti. Najskromnejše kapljanje je cevka v Veliki dvorani - njen pretok ne presega nekaj  $\text{ml min}^{-1}$ . Curek v Blatni dvorani in curka v Zadnji dvorani so najizdatnejši in jim pretok ne pade pod  $2 \text{ ml min}^{-1}$ . Njihovi pretoki so sorazmerni, vendar z občasnimi zamiki, kar pomeni, da ne gre pri vseh za sočasne reakcije pretoka na padavine.

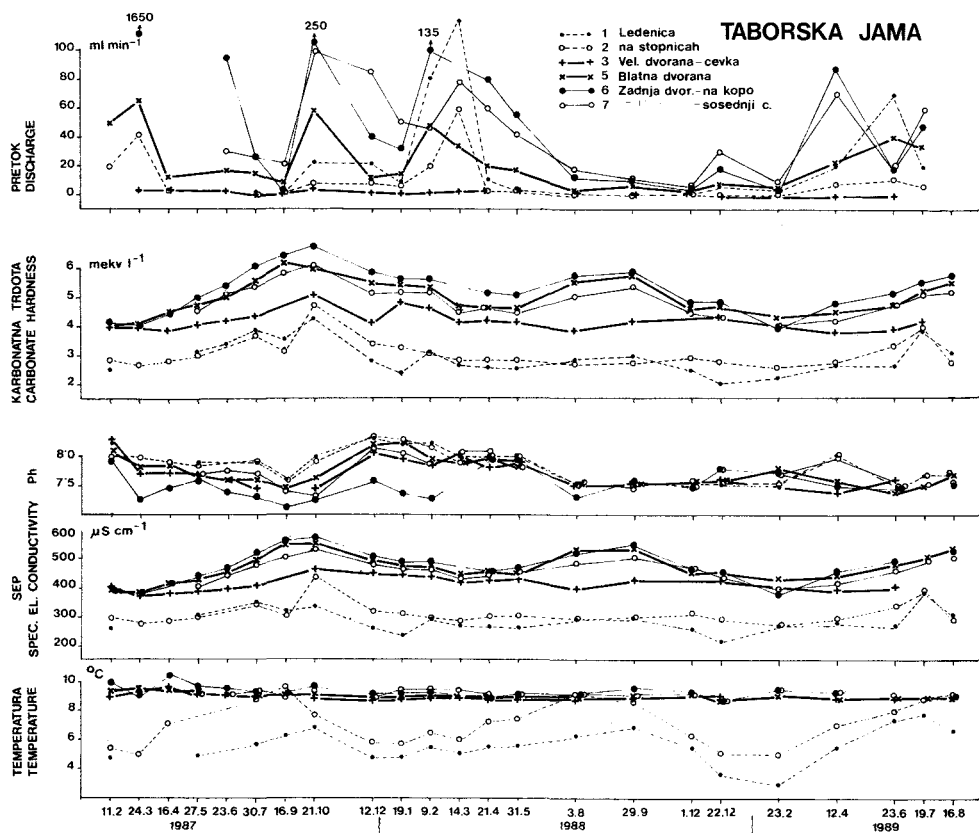
Kako opazovani curki reagirajo na padavine, smo spoznali ob opazovanju vodnega vala junija 1989, ko so padle izdatnejše padavine (34.7mm 22.in 23.6.). Dne 23.6. sta najprej reagirala curka v Ledenici in na stopnicah, nato pa curka v Zadnji dvorani in curek v Blatni dvorani. Kapljanje s stropa v Veliki dvorani je reagiralo dan kasneje, najkasneje pa cevka v Veliki dvorani. Očitno se curki razlikujejo tako po obsežnosti svojega zaledja, kot tudi po njegovi prepustnosti.

Temperatura prenikle vode globlje v jami preko leta pri vseh izbranih kapljanjih le malo niha. Giblje se v intervalu  $8.7 - 9.7^{\circ}\text{C}$ . Verjetno je to tudi temperatura zraka v tem

delu jame, saj so se vzorci ob nizkih pretokih zbirali tudi več dni. Vendar pa ob visokih pretokih nismo zabeležili opaznejših odmikov, čeprav smo tedaj vzorce takoj zajeli. Temperatura izbranih kapljanj v Ledenici in na stopnicah v prehodu k Srebrni dvorani pa je preko leta močnejše nihala, kar pa je predvsem odraz vpliva zunanje temperature zraka v tem delu Taborske jame. Rezultati meritev in analiz vzorčevanih voda so razvidni iz slike 2, tabele 1,2 in 3 pa podajajo rezultate treh značilnih kapljanj oz. curkov.

### Specifična električna prevodnost (SEP) in trdota

SEP je enostavna določitev, ki nam hitro pove količino v vodi prisotnih ionov (velikost mineralizacije), kar nam omogoča orientacijo pri nekaterih nadaljnjih analizah. V grobem so meritve SEP pokazale na dve skupini preniklih voda. Opazno nižje vrednosti sta imeli kapljanji v Ledenici (vrednosti so nihale okoli vrednosti  $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), ostala kapljanja pa so dosegala vrednosti med  $380$  in  $570 \mu\text{S cm}^{-1}$  in so sezonsko nihala.



Sl.2 : Karakteristike preniklih voda v Taborski jami

Fig. 2 : Properties of seepage waters in Taborska jama

Prenikla voda ima visoko kalcijevo trdoto, magnezijeva pa je nizka. Od anionov vsebuje predvsem karbonate in od 10 do 18 mg  $\text{SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$ . Kloridov vsebuje pod 3 mg  $\text{l}^{-1}$ , nitrato pod 1 mg  $\text{l}^{-1}$  in o-fosfatov pod 0.01 mg  $\text{l}^{-1}$ , kar pove, da so vode, ki prenikajo v Taborsko jamo, še čiste. Zato je SEP pri posameznih vzorcih tudi sorazmerna karbonatni oz. celokupni trdoti. Letna poteka karbonatne in celokupne trdote sovpadata s potekom

Tabela 1

## TABORSKA JAMA: Ledenica - 1

Datum	pretok	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Mg	Ca+Mg	Nek.
	ml/min	°C	µS/cm			mekv l <sup>-1</sup>			
1987									
11.2.	>100	4.8	258	8.2	2.56	2.59	0.06	2.65	0.09
27.5.	-	4.9	308	7.9	3.16	3.06	0.16	3.22	0.06
30.7.	1.5	5.7	353	7.9	3.90	3.76	0.20	3.96	0.06
16.9.	-	6.3	318	7.6	3.56	3.33	0.27	3.60	0.04
21.10.	22	6.8	337	8.0	3.64	3.53	0.18	3.71	0.07
22.12.	21	4.8	258	8.3	2.82	2.67	0.18	2.85	0.03
1988									
19.1.	8	4.8	233	8.2	2.36	2.33	0.06	2.39	0.03
9.2.	80	5.5	291	8.3	3.08	2.94	0.18	3.12	0.04
14.3.	120	5.1	271	8.0	2.64	2.69	0.21	2.90	0.26
21.4.	11	5.5	264	8.0	2.54	2.57	0.30	2.87	0.33
31.5.	4	5.6	260	8.0	2.49	2.50	0.31	2.81	0.32
3.8.	1	6.3	290	7.5	2.80	3.01	0.08	3.09	0.29
29.9.	1	6.9	300	7.5	2.94	3.16	0.16	3.32	0.38
25.11.	1.5	5.5	261	7.5	2.46	2.70	0.18	2.88	0.18
20.12.	7	3.7	213	7.5	1.98	2.18	0.12	2.30	0.12
1989									
23.2.	4	3.0	270	7.5	2.18	2.78	0.15	2.93	0.75
12.4.	20	5.5	279	8.1	2.58	2.84	0.30	3.14	0.65
23.6.	70	6.7	265	7.5	2.60	2.88	0.28	3.16	0.56
19.7.	20	6.9	384	7.7	3.82	4.00	0.36	4.36	0.54
16.8.	2.8	6.7	305	7.7	3.02	3.26	0.24	3.50	0.48
povprečno:		5.5	286	7.8	2.86	2.91	0.20	3.11	
Minimum:		3.0	213	7.5	1.98	2.18		2.39	
Maximum:		6.9	384	8.3	3.9	4.00		4.36	

Karb.: karbonatna trdota  
Ca: kalcijeva trdota  
Mg: magnezijeva trdota

Ca+Mg: celokupna trdota  
Nek.: nekarbonatna trdota

SEP in so torej višje vrednosti SEP odraz višjih vrednosti karbonatne in vzporedno celokupne trdote.

Najnižje karbonatne trdote ima prenikla voda na opazovanih točkah v Ledenici in Na stopnicah (2 do 4.7 mekv  $\text{l}^{-1}$ , kar je 100 - 235 mg  $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ ). To smo tudi pričakovali po izmerjeni SEP te vode. Padavine s površja prenikajo tu hitro skozi tanek strop. Drugače pa prenika voda v jamo na točki 3 v Veliki dvorani, kjer strop ni bistveno debelejši, prenikla voda pa tam vsebuje kar od 3.8 do 5.1 mekv  $\text{l}^{-1}$  karbonatov. Najvišje vrednosti karbonatov (kot tudi celokupne trdote) pa so analize pokazale pri najizdatnejših curkih v jami: pri curku v Blatni dvorani in obeh curkih v Zadnji dvorani. Izmed teh je najvišje trdote dosegal curek v Zadnji dvorani, ki pada na kopo. Pri teh curkih je opazno tudi sezonsko nihanje trdot. Višje vrednosti smo zabeležili poleti in jeseni, nižje pa pozimi

Tabela 2

TABORSKA JAMA: Velika dvorana - cevka - 3

Datum	pretok	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Mg	Ca+Mg	Nek.
	ml/min	°C	$\mu\text{S/cm}$			mekv $\text{l}^{-1}$			
<b>1987</b>									
11.2.	2	8.9	405	8.3	3.92	3.96	0.10	4.06	0.14
24.3.	2.5	9.3	377	7.7	3.90	3.63	-	-	-
16.4.	2	9.7	380	7.7	3.86	3.90	0.10	4.00	0.14
27.5.	-	9.1	386	7.7	4.04	-	-	-	-
23.6.	2	9.2	394	7.6	4.14	-	-	-	-
30.7.	0.3	8.9	409	7.5	4.32	4.18	0.20	4.38	0.06
21.10.	3	8.9	465	7.5	5.10	4.69	0.45	5.14	0.04
22.12.	1.5	8.7	449	8.0	4.06	4.02	-	-	-
<b>1988</b>									
19.1.	0.15	8.8	445	8.0	4.80	4.73	-	-	-
9.2.	1.7	8.9	436	7.8	4.58	4.53	0.10	4.63	-
14.3.	2	8.9	423	8.0	4.10	4.28	-	-	-
21.4.	1.7	8.8	424	7.8	4.16	4.40	0.27	4.67	0.51
31.5.	2.2	8.8	430	7.9	4.09	4.36	0.25	4.61	0.52
3.8.	<0.05	9.0	394	7.5	3.78	-	-	-	-
29.9.	0.1	8.9	423	7.6	4.16	4.42	0.18	4.60	0.44
20.12.	-	9.1	426	7.6	4.24	4.52	0.19	4.71	0.47
<b>1989</b>									
12.4.-19.6		9.0	399	7.6	3.82	4.2	0.23	4.43	0.61
19.7.	-	-	415	7.7	4.10	4.20	0.37	4.57	0.47
<b>Povprečno:</b>		9.0	416	7.75	4.17	4.22	0.27	4.49	
<b>Minimum:</b>		8.8	377	7.5	3.78	3.73		4.00	
<b>Maximum:</b>		9.7	465	8.3	5.10	4.64		5.14	



in spomladi in sicer so se gibale v intervalu med 3.9 in 6.7 mekv l<sup>-1</sup>, kar pomeni med 180 in 335 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>. Poteki trdot so razvidni iz slike 2.

Ponovno lahko ugotovimo, da stopnja korozije prenikajoče vode zavisi predvsem od načina prenikanja skozi jamski strop, kjer pa ima lahko določen vpliv tudi njegova debelina.

Tabela 3

TABORSKA JAMA: Zadnja dvorana - curek na kopo - 6

Datum	pretok	T	SEP	pH	Karb.	Ca	Mg	Ca+Mg	Nek.
	ml/min	°C	µS/cm			mekv l <sup>-1</sup>			
1987									
11.2.	velik	10.0	390	7.8	4.14	4.04	0.24	4.28	0.14
24.3.	1650	9.1	384	7.2	4.10	4.06	0.18	4.24	0.14
16.4.	-	10.5	412	7.5	4.46	4.26	0.29	4.55	0.09
27.5.	-	9.7	437	7.6	4.98	4.69	0.33	5.02	0.04
23.6.	95	9.6	470	7.4	5.42	5.06	0.43	5.49	0.07
30.7.	27	9.4	522	7.3	6.08	5.71	0.45	6.16	0.08
16.9.	2.5	9.2	555	7.1	6.44	5.96	0.57	6.53	0.09
21.10.	250	9.7	574	7.3	6.36	6.34	0.14	6.48	0.12
22.12.	40	9.2	507	7.6	5.84	5.66	0.19	5.85	0.01
1988									
19.1.	32	9.3	489	7.4	5.62	5.04	0.63	5.67	0.05
9.2.	135	9.4	493	7.3	5.62	5.28	0.39	5.67	0.05
21.4.	80	8.9	455	8.0	5.08	4.97	0.22	5.19	0.11
31.5.	55	9.2	472	7.9	5.04	4.92	0.24	5.16	0.12
3.8.	12	9.2	521	7.3	5.56	5.70	0.14	5.84	0.28
29.9.	10	9.6	543	7.6	5.86	5.90	0.20	6.10	0.24
25.11.	5	9.4	466	7.5	4.82	5.02	0.08	5.10	0.28
20.12.	19	8.8	455	7.8	4.82	4.97	0.12	5.09	0.27
1989									
23.2.	10	9.6	396	7.7	3.90	4.32	0.27	4.59	0.69
12.4.	87	9.4	460	7.5	4.74	4.88	0.25	5.13	0.39
23.6.	vodni val!								
19.7.	60	-	496	7.5	5.02	5.34	0.21	5.55	0.53
16.4.	-	10.5	412	7.5	4.46	4.26	0.29	4.55	0.09
19.9.	22	9.7	558	7.6	5.92	6.17	0.18	6.35	0.43
Povprečno:		9.4	481	7.5	5.27	5.13	0.27	5.4	
Minimum:		9.1	384	7.1	3.9	4.04		4.24	
Maximum:		10.5	574	8.0	6.44	6.34		6.53	

Maksimalna karbonatna trdota v Taborski jami je tudi maksimalna trdota, ki smo jo zabeležili pri naših dosedanjih skoro 15-letnih opazovanjih v jamah na Notranjskem in na Krasu. Vzrok tem visokim vrednostim karbonatov sta morda drugačna vegetacija in podnebje, ki pogojujeta drugačen način razkroja organskih snovi v tleh ter spiranje nastalega  $\text{CO}_2$  s padavinsko vodo v razpokane karbonatne kamnine. Tudi izotopske analize te vode so pokazale bistvene razlike v primerjavi s preniklimi vodami v jamah notranjskega in primorskega krasa (J.Urbanc, J.Kogovšek, J.Pezdič, 1990). Morda bi še bolj poglobljene raziskave v tej smeri lahko dale bolj določen odgovor.

Tem visokim vrednostim se še najbolj približujejo trdote prenikle vode v Škocjan-skih jamah, kjer smo izmerili vzporedno tudi veliko izločanje sige.

## PODROBNO SPREMLJANJE VODNEGA VALA

Večletne meritve prenikajoče vode v Taborski jami so nam podale splošne značilnosti dinamike penikanja in kemijsko sestavo vode na izbranih značilnih kapljanjih in curkih. Ker pa nas je zanimalo, kako curki v jami reagirajo na določene intenzivne padavine, smo se odločili za vzorčevanje prenikle vode ob naraščanju pretoka v vodnem valu pri curek, ki pada na kopo (curek 6) v začetnem delu Zadnje dvorane.

Ta curek penika skozi 50 m debel jamski strop v območju pretirne cone preloma, ki poteka v smeri od Blatne dvorane v Matjaževo dvorano (R.Gospodarič, 1987). Voda pada na približno 6 m visoko sigovo kopo in pri polzenju po njej odlaga sigo. Na območju Matjaževe dvorane in začetnega dela Zadnje dvorane je sicer še več občasnih curkov in kapljanj, ki pa se pojavljajo le ob izdatnejših padavinah. Stalen je le še curek, ki priteče v jamo nekaj metrov stran od omenjenega curka in ima manjšo izdatnost (curek 7).

Curek 6 je najizdatnejši stalni curek v Taborski jami z maksimalnim izmerjenim pretokom  $2000 \text{ ml min}^{-1}$ , ki v daljših sušnih obdobjih preide v kapljanje s pretokom le nekaj  $\text{ml min}^{-1}$ . Letna nihanja pretoka so sorazmerno velika, letna nihanja temperature pa v območju  $1^\circ\text{C}$ . Curek je dosegal tudi najvišjo celokupno in karbonatno trdoto, ki preko leta sezonsko nihata. Visoka vsebnost kalcija in nizka magnezija (le nekaj procentov) pa nakazuje, da se voda pretaka skozi apnenec z nizko vsebnostjo magnezija.

### Meritve pretoka

Za podrobno opazovanje vodnega vala nam je bil dobrodošel naliv 23.6.1989, ko je padlo po meteoroloških padavinskih podatkih za postajo Šmarje Sap od 7.00 dalje 19.5 mm dežja. Deževalo je že prejšnjo noč, saj je v 24 urah prej padlo 15.2 mm padavin, poprej pa še 9 mm, tako da so bila tla že nekoliko namočena. Žal so te vrednosti le orientacijske, ker se količina dežja v poletnih nevihtah že od kraja do kraja zelo spreminja. Nimamo pa tudi padavinske krivulje, ki bi nam pomagala pri ugotavljanju zaostanka reakcije curkov na padavine.

Curek 6 na kopo je reagiral 23.6.1989 ob 9.55, pet minut prej pa smo zabeležili prvo

povišanje pretoka pri sosednjem stalnem curku (curek 7). Iz tabele 4 je razvidno naraščanje pretokov curkov 6 in 7. Grafično to podaja slika 3.

Tabela 4

VODNI VAL 23.6.1989

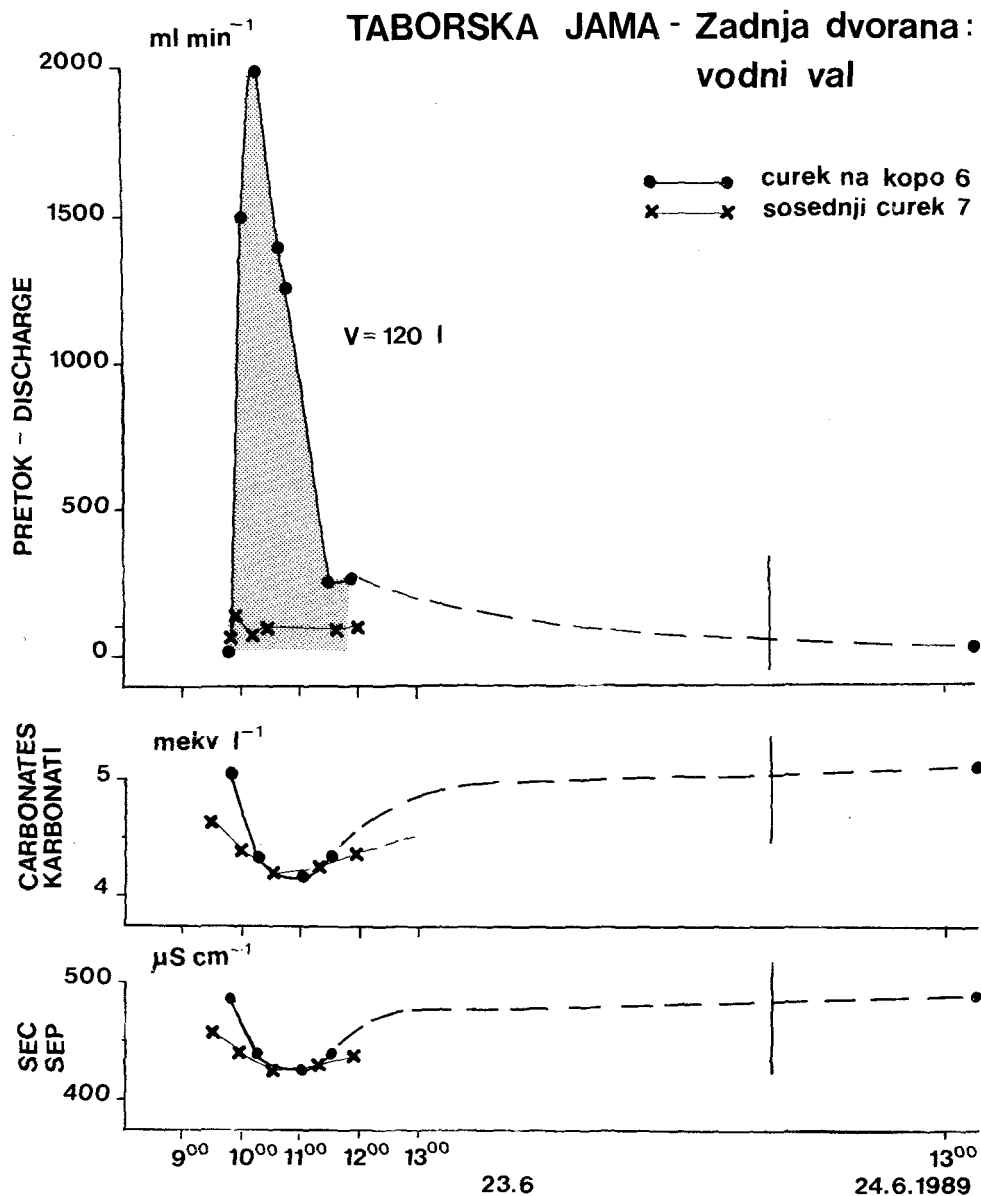
TABORSKA JAMA - Zadnja dvorana : CUREK NA KOPO (6)

SOSEDNJI CUREK (7)

čas meritve pretoka	pretok (ml min <sup>-1</sup> )	
	curek 6	curek 7
Začetek naraščanja pretoka	9.55	9.50
23.6.89 pred 9.50		20
" pred 9.55	18	
" 9.50		65
" 9.55		145
" 10.00	1500	
" 10.15	2000	
" 10.15		80
" 10.25		100
" 10.35	1400	
" 10.50	1300	
" 10.55		100
" 11.25	250	
" 11.40		90
" 11.50	270	
" 12.00		100
24.6.89 13.30	27	
19.7.89 11.00	48	60
16.8.89 9.00	3.5	
" 10.00		24
22.8.89 9.00	3.5	
" 10.00		24

Štirinajst dni pred padavinami, ki so sprožile vodni val, ni bilo omembe vrednih padavin. Ob vzorčevanju 19.6. 1989 so bili nekateri pretoki prenizki, da bi lahko nalovili dovolj vzorca, zato smo pustili nastavljene steklenice do 23. junija, ko je bil pretok curka, ki pada na kopo 18 ml min<sup>-1</sup>. Minimalni zabeleženi pretok med opazovanji je bil 2.5 ml min<sup>-1</sup>, kar pomeni, da je bilo zaledje curka pred vodnim valom zmerno zapolnjeno s staro vodo. Curek 6 je v vodnem valu dosegel svoj maksimalni pretok 2000 ml min<sup>-1</sup> že po 20 min. Po preteku ure in pol je upadel na 250 ml min<sup>-1</sup>. Predvidevamo, da je glavni del

vode vala tako iztek, ker so padavine prenehale in da se je pretok nato bolj ali manj asimptotično približeval vrednosti  $27 \text{ ml min}^{-1}$ , pretoku, ki smo ga izmerili 24.6.1989 ob 13.30.



Sl.3 : Opazovani vodni val v Taborski jami

Fig. 3 : Observed water pulse in Taborska jama

Pretok sosednjega curka (7) je začel naraščati 5 min prej, ko pa ga je curek 6 "dohitel", se je njegov pretok umiril in nihal okoli vrednosti  $100 \text{ ml min}^{-1}$ , kar je razvidno iz slike 3. Izgleda, kot da bi curek 6 deloval kot vakuumška črpalka in pobiral del vode sosednjemu curku. Temu v prid govore tudi trdote curkov v vodnem valu, ki dobro sovpadajo.

### Meritve SEP, trdot in sulfatov

V jami smo poleg pretokov merili tudi specifično električno prevodnost (SEP), v laboratoriju pa še karbonatno, kalcijevo in celokupno trdoto ter vsebnost sulfatov. Analize zajetih vzorcev so zbrane v tabelah 5 in 6.

Tabela 5

TABORSKA JAMA - Zadnja dvorana: CUREK NA KOPO (6)  
VODNI VAL 23.6.1989

vzorec	čas	SEP	pH	Karb.	Ca	Ca+Mg	Nek.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	$\text{mekv l}^{-1}$					
19.- 23.6.	9.55	488	7.46	5.05	5.29	5.47	0.42	0.22
23.6.	10-10.30	441	7.31	4.34	4.70	4.86	0.52	0.21
	10.30-11.20	427	7.27	4.16	4.53	4.71	0.55	0.20
	11.20-11.50	442	7.26	4.36	4.73	4.92	0.56	0.20
24.6.	13.30	490	7.45	5.10	5.31	5.46	0.36	0.20

Karb.: karbonatna trdota

Ca: kalcijeve trdota

Ca+Mg: celokupna trdota

Nek.: nekarbonatna trdota

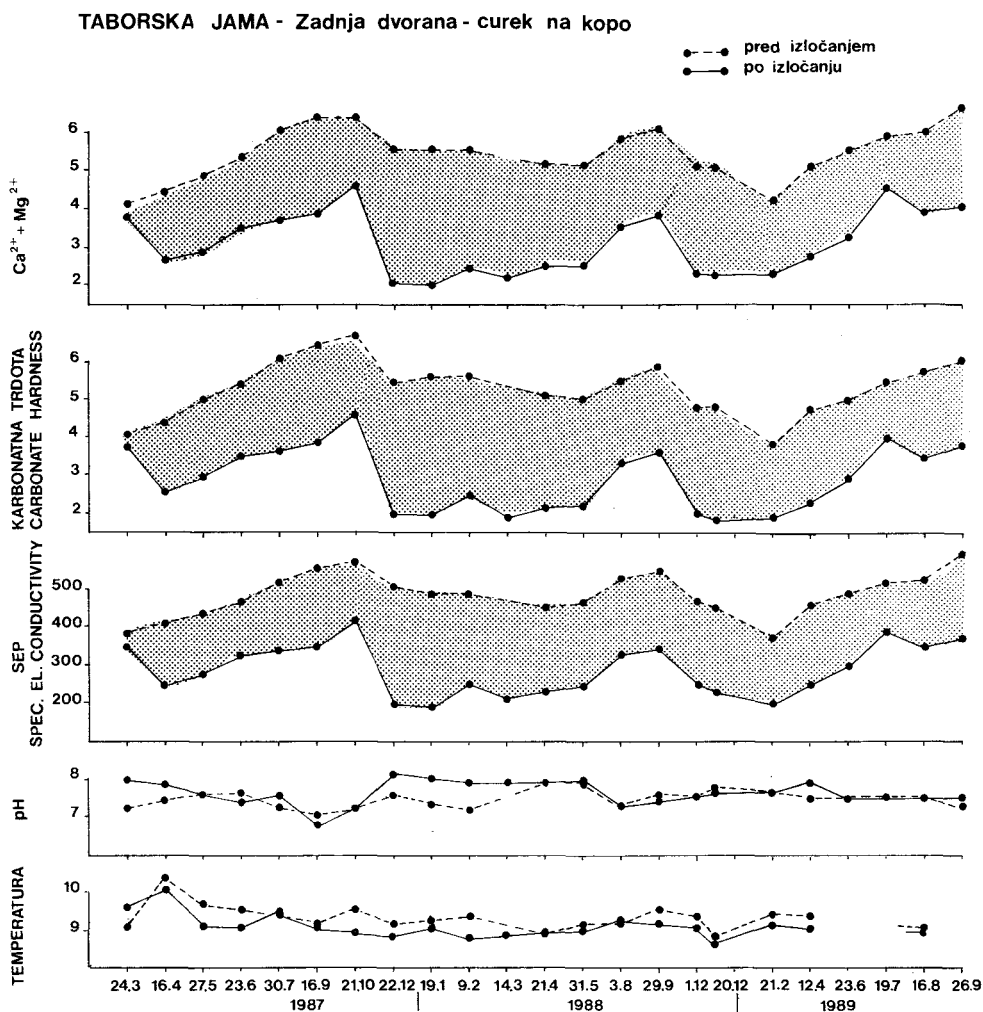
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: vsebnost sulfatov

Tabela 6

TABORSKA JAMA - Zadnja dvorana: SOSEDNJI CUREK (7)  
VODNI VAL 23.6.1989

vzorec	čas	SEP	pH	karb.	Ca	Ca+Mg	Nek.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	$\text{mekv l}^{-1}$					
19.- 23.6.	9.50	458	7.57	4.66	4.90	5.12	0.46	0.27
23.6.	9.50-10.25	441	7.58	4.42	4.79	4.92	0.50	0.27
	10.25-10.55	424	7.58	4.20	4.58	4.72	0.54	0.26
	10.55-11.40	429	7.59	4.26	4.64	4.78	0.52	0.25
	11.40-12.00	437	7.31	4.36	4.72	4.86	0.50	0.25

Meritve SEP so podale obratnosorazmeren potek glede na pretok. Vrednost je pri curku na kopo (tabela 5) od začetnega do maksimalnega pretoka upadla za  $61 \mu\text{S cm}^{-1}$ , karbonatna trdota za  $0.89 \text{ mekv l}^{-1}$ , kalcijeva in celokupna trdota za  $0.76 \text{ mekv l}^{-1}$ , magnezijeva trdota je bila nizka in nismo zabeležili opaznejše spremembe v času vodnega vala. Tudi meritve sulfatov so pokazale sočasen manjši upad njihove koncentracije. Padavinska voda je začela iztiskati staro vodo iz zaledja curka in se s časom vse bolj mešala z njo. Najnižje vrednosti SEP in trdot prenikle vode zamujajo za maksimumom



Sl.4 : Recentno izločanje sige v Zadnji dvorani Taborske jame

Fig. 4 : Recent flowstone deposition in Zadnja dvorana of Taborska jama

pretoka, kar pomeni, da je bil največji delež padavin v prenikli vodi, ko je bil njen pretok že v upadu. Oceno mešanja stare prenikle vode z vodo padavin so omogočile izotopske analize prenikle vode ( J.Urbanc, J.Kogovšek, J. Pezdič, 1990).

V vodnem valu je v jamo priteklo približno 120 l vode, kar nakazuje majhno kapaciteto zaledja curka, ki pa je očitno tako organizirano, da zagotavlja curku njegovo stalnost preko leta.

## IZLOČANJE SIGE

Bogastvo kapniških oblik v jami priča, da je v preteklosti prenikala v jamo prenašena voda, ki je odlagala sigo. Da ta proces poteka še danes, čeprav izgleda, da v manjšem obsegu, pričajo sedanja kapljanja v jami in sveža siga. Meritve količine sige, ki se izloča iz prenikle vode v Taborski jami, smo zastavili pri curku 6 v Zadnji dvorani, ki pada na kopo in nekako 6 m polzi po njej. Vzorčevali smo vodo, ko priteče skozi jamski strop in ob vznožju kope ter v bližnjih banjicah, v katerih se nabira po polzenju. Določevali smo ji SEP, karbonatno in celokupno trdoto. Rezultati meritev prenikle vode na stropu in po polzenju do druge banjice so razvidni iz slike 4.

Izločanje sige pri nižjih pretokih, nekako do  $200 \text{ ml min}^{-1}$ , ki smo jih zabeležili ob naših meritvah najpogosteje, je razmeroma veliko in niha v intervalu od 90 do  $180 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  (1.8 do  $3.6 \text{ mekv l}^{-1}$ ). Ob minimalnih pretokih, približno do  $10 \text{ ml min}^{-1}$  nismo zabeležili opazno večjega izločanja.

Visoki oz. maksimalni pretoki nastopajo v vodnih valovih. Tako smo spomladi 1987 zabeležili pretok  $1650 \text{ ml min}^{-1}$  in v vodnem valu spomladi 1989 maksimalno vrednost  $2000 \text{ ml min}^{-1}$ . Iz tega sklepamo, da se maksimalni pretoki curka gibljejo v območju navedenih vrednosti. V takih pogojih je bilo izločanje sige znatno manjše. Iz 1 litra prenikle vode se je izločalo le do  $25 \text{ mgCaCO}_3$ .

Ko pade prenikla voda s stropa na sigovo kopo delno prenika skozi jamo, delno pa polzi po njeni površini. Dne 26.9.1989 smo izmerili hitrost polzenja po namočeni kopi ob sicer nizkem pretoku  $4 \text{ ml min}^{-1}$ . Voda je od vrha do dna kope potovala 30 min, torej s hitrostjo  $20 \text{ cm min}^{-1}$ . Iz enega litra vode se je izločilo  $113 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ , oz. 37% vseh karbonatov. Sklepamo pa, da bi bilo pri tako nizkih pretokih ob slabo namočeni kopi izločanje opazno večje, kot smo že ugotovili z meritvami v podobnih pogojih v Veliki dvorani Škocjanskih jam.

V Taborski jami se ob ugodnih razmerah iz 1 l prenikle vode izloča do  $180 \text{ mgCaCO}_3$  oz. do 64% vseh karbonatov v prenikli vodi, ob najvišjih pretokih v vodnih valovih pa pod 10%. Podobne meritve na kapniku Orjaku v Veliki dvorani Škocjanskih jam (J.Kogovšek 1984) so podale, da se tam izloča od 23 do 65% vseh karbonatov, kar pomeni, da se je iz enega litra prenikle vode izločalo od 37 do  $170 \text{ mg CaCO}_3$ .

## SKLEP

Analize preniklih voda v Taborski jami so pokazale, da so te vode še vedno čiste. Vsebujejo predvsem karbonate in kalcij, malo magnezija in sulfatov, medtem ko so koncentracije kloridov, nitratov in o-fosfatov zelo nizke oz. na meji detekcije uporabljanih metod. Letno količino padavin na tem območju ocenjujemo na 1400 mm, v jami pa prevladujejo kapljanja in le nekatera od njih ob izdatnejših padavinah preidejo v curke. V primerjavi s preniklimi vodami v jamah notranjskega krasa je njihova izdatnost manjša, saj smo izmerili maksimalni izmerjeni pretok  $2 \text{ l min}^{-1}$ , bolj pa so primerljive s preniklimi vodami v jamah Krasa.

Karbonatne trdote prenikle vode so dosegale vrednosti od 2 do  $6.7 \text{ mekv l}^{-1}$ , kar je 100 do  $335 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Različno stopnjo korozije pripisujemo različnemu načinu prenikanja pri posameznih kapljanjih in curkih. Maksimalna vrednost karbonatne trdote je tudi najvišja vrednost, ki smo jo zabeležili pri meritvah v jamah Notranjske in Krasa in se ji še najbolj približujejo prenikle vode v Veliki dvorani Škocjanskih jam. Ta je morda posledica drugačnih podnebnih vplivov in vegetacije na površju ter s tem povezanega razpada organskih snovi.

Podrobno spremljanje vodnega vala najizdatnejšega curka v Zadnji dvorani je pokazalo na skromno kapaciteto njegovega zaledja v primerjavi s opazovanimi curki v Planinski jami, vendar pa s tako organizirano mrežo prevodnikov, ki mu zagotavljajo stalnost. Izdatno mešanje stare vode v zaledju curka s padavinsko vodo so podale tudi izotopske analize (J. Urbanc, J.Kogovšek, J.Pezdič, 1990).

Recentno izločanje sige smo ugotavljali na kopi v Zadnji dvorani, na katero pada prenikla voda z največjo vsebnostjo karbonatov. Iz enega litra prenikle vode se je tekom leta izločalo pri pretokih do  $200 \text{ ml min}^{-1}$  od 90 do  $180 \text{ mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ , le pri maksimalnih zabeleženih pretokih (cca  $2000 \text{ ml min}^{-1}$ ), ki nastopajo v vodnih valovih, manj, približno  $25 \text{ mgCaCO}_3$  iz litra prenikle vode. Tako izdatno izločanje sige smo izmerili le še v Škocjanskih jamah, kjer se je iz enega litra prenikle vode izločalo do  $170 \text{ mgCaCO}_3$ , kar pomeni tako kot v Taborski jami do 65% vseh karbonatov v prenikli vodi.

## LITERATURA

- Gospodarič, R., 1987 : Speleogeološki podatki Taborske jame in njene okolice. Acta carsologica, 16,17-34, Ljubljana
- Kogovšek, J., 1984 : Vertikalno prenikanje vode v Škocjanskih jamah in Dimnicah. Acta carsologica, 12, 49-65, Ljubljana
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 14<sup>th</sup> Edition, 1975
- Urbanc, J., Kogovšek, J., Pezdič, J., 1990: Izotopska sestava kisika in ogljika v vodi iz Taborske jame. Acta carsologica, 19. 157-163, Ljubljana
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung, 22.Lieferung, 1989



## THE PROPERTIES OF PRECIPITATIONS SEEPING THROUGH THE TABORSKAJAMA ROOF

### Summary

In Taborska jama the analyses of seepage waters have shown that these waters are not always pure. They mostly contain carbonates and calcium, a little magnesium and sulphates, the concentrations of chlorides, nitrates and o-phosphates being very low, on the detection limit of the used methods respectively. The annual rainfall amount of the area is estimated to 1400 mm; in the cave small trickles prevail and some of them only are influenced by heavy rainfall to alter into water jets. Compared to seepage waters in the caves of Notranjska karst the yielding is smaller, the maximal measured discharge being  $2 \text{ l min}^{-1}$ ; they could be better compared to waters from the classical Kras caves.

Carbonate hardness of seepage water reaches the values from 2 to  $6.7 \text{ mekv l}^{-1}$ , which means 100 to  $335 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Different corrosion effect is due to different way of percolation at particular drippings and trickles. Maximal value of carbonate hardness is the highest value which was evidenced while measuring in the caves of Notranjska and Kras and the most similar are the seepage waters from Velika dvorana in Škocjanske jame; this value is maybe the effect of different climatic influences and vegetation on the surface and connected decay of organic matters.

Detailed measurements of water pulse of the most yielding trickle in Zadnja dvorana have shown modest capacity of its background compared to similar observed trickles in Planinska jama, but the net of conduits assures its stability. The isotopic analyses have shown mixing of old water stored in the trickle background with precipitation water in large scale (J.Urbanc, J.Kogovšek, J.Pezdič, 1990).

The recent flowstone precipitate was measured on the pile in Zadnja dvorana where the seepage water with the most of dissolved carbonates, falls. During the year from one liter of seepage water at discharges to  $200 \text{ ml min}^{-1}$  90 to  $180 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$  were deposited. During the maximal evidenced discharges (cca  $2000 \text{ ml min}^{-1}$ ), occurring in water pulses only, we measured lower flowstone deposition,  $25 \text{ mg CaCO}_3$  from one liter of seepage water. So much of flowstone deposition was measured in Škocjanske jame only, where  $170 \text{ mg CaCO}_3$  from one liter were deposited, meaning 65% of all the carbonates in seepage water of Taborska jama.

**IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN  
OGLJIK V VODI IZ  
TABORSKE JAME**

**ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON  
IN WATERS FROM TABORSKA JAMA**

**Janko URBANC, Janja KOGOVŠEK in Jože PEZDIČ**

**Izvleček**

UDK 556.12:551.442(497.12)

**Urbanc, Janko, Janja Kogovšek, Jože Pezdič: IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN OGLJIK V VODI IZ TABORSKE JAME**

Opisane so značilnosti izotopske sestave kisika in ogljika v vodi curka v Taborski jami med padavinskim valom. Iz podatkov o izotopski sestavi kisika se je dalo izračunati deleže padavinske vode v curku. Podana je tudi primerjava izotopske sestave ogljika v vodi in sigi z meritvami v nekaterih drugih slovenskih jamah.

**Abstract**

UDC 556.12:551.442(497.12)

**Urbanc, Janko, Janja Kogovšek, Jože Pezdič: ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN WATERS FROM TABORSKA JAMA**

The properties of isotopic composition of oxygen and carbon in trickle water in Taborska jama during the rainwater pulse are described. The data about isotopic oxygen composition enabled the calculation of rainwater rate in the trickle. The measurements of isotopic composition of carbon in water and in flowstone are compared with measurements in other slovene caves.

Naslov - Address

mag. Janko Urbanc, dipl.ing. geol.  
Jože Pezdič, dipl. ing. geol.  
Institut Jožef Stefan  
YU 61000 Ljubljana, Jamova 39

mag. Janja Kogovšek, dipl. ing. chem.  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
YU 66230 Postojna, Titov trg 2

V kraških jamah se v jamskih curkih pojavljata dva tipa skozi strop prenikajoče vode. Prve so počasi iztekajoče vode oziroma bazni tok ter druge hitro iztekajoče padavinske vode ob deževnem valu. Bazni tok je kemijsko in izotopsko močno homogeniziran, voda padavinskih valov pa ima lastnosti vsakokratnih padavin. Naša raziskava je imela namen ugotoviti delež novih padavin v padavinskem valu jamskega curka v Taborski jami. Poleg tega smo tudi želeli primerjati izotopsko sestavo ogljika v vodi iz Taborske jame z vodami iz nekaterih drugih slovenskih jam.

Vzorci so odvzeli sodelavci Inštituta za raziskovanje krasi in sicer je bilo analiziranih pet vzorcev vode curka na kopo v Zadnji dvorani Taborske jame v času padavinskega vala in pet po njem. O zančilnosti pretakanja padavin v Taborsko jamo, vključno s curkom v Zadnji dvorani poroča J. Kogovšek (1990). Izotopske analize so bile izvršene z masnim spektrometrom Varian Mat 250 na Institutu Jožef Stefan.

Če poznamo izotopsko sestavo kisika v padavinah in izotopsko sestavo kisika v baznem toku jamskega curka, lahko določimo delež padavinske vode v curku med vodnim valom. Izotopska sestava kisika v vodi se namreč med njenim tokom v podzemlju ne spreminja in jo torej lahko uporabimo kot naravno sledilo. Delež baznega toka izračunamo iz masne bilance:

$$\frac{Q_g}{Q_t} = \frac{(\delta t - r)}{(\delta g - \delta r)} \quad (1)$$

$Q_t$ : skupni iztok

$Q_g$ : delež baznega toka

$\delta t$ :  $\delta^{18}\text{O}$  v skupnem iztoku

$\delta r$ :  $\delta^{18}\text{O}$  padavin

$\delta g$ :  $\delta^{18}\text{O}$  v baznem toku

V primeru vodnega vala v Taborski jami na žalost ne poznamo točne izotopske sestave kisika v padavinah, zato smo kot približek vzeli srednjo vrednost  $\delta^{18}\text{O}$  padavin v Ljubljani v mesecu juniju (-5,7 ‰). Za izotopsko sestavo kisika v baznem toku pa smo privzeli izotopsko sestavo kisika v nizki vodi iz curka neposredno pred vodnim valom (-9,12 ‰). Točnost določitve deležev posameznih vod v skupnem toku je seveda odvisna od tega, v kolikšni meri sta ti dve predpostavki blizu realnim vrednostim v času vzorčevanja. Tabela 1 ter slika 1 prikazujeta spreminjanje izotopske sestave kisika v vodi med vodnim valom skupaj z izračunanimi deleži padavinske vode v celokupnem odtoku na curku.

Nizka voda oziroma bazni tok je imel pred vodnim valom  $\delta^{18}\text{O}$  okoli -9 ‰, kar je približno srednja vrednost  $\delta^{18}\text{O}$  v padavinah tega območja. Kljub skoraj 100 krat večjemu pretoku v curku je delež zadnjih padavin v njem dosegel komaj 50 % skupnega

Tabela 1: Izotopska sestava kisika in deleži padavinske vode, izračunani po formuli 1, v vodi curka v Zadnji dvorani Taborske jame.

čas	$\delta^{18}\text{O}$ vode na curku (‰)	% padavinske vode
vodni val		
19.6. - 23.9. 1989	- 9.12	0
23.6. (10.00 - 10.30)	- 7.79	39
" (10.30 - 11.20)	- 7.55	52
" (11.20 - 11.50)	- 7.60	48
23.6. (11.50) - 24.6.	- 9.04	2
po vodnem valu		
24.6. - 19.7.	- 8.72	
19.7. - 16.8.	- 8.92	
16.8. - 22.8.	- 8.98	
22.8. - 6.9.	- 8.91	
19.9. - 26.9.	- 8.82	

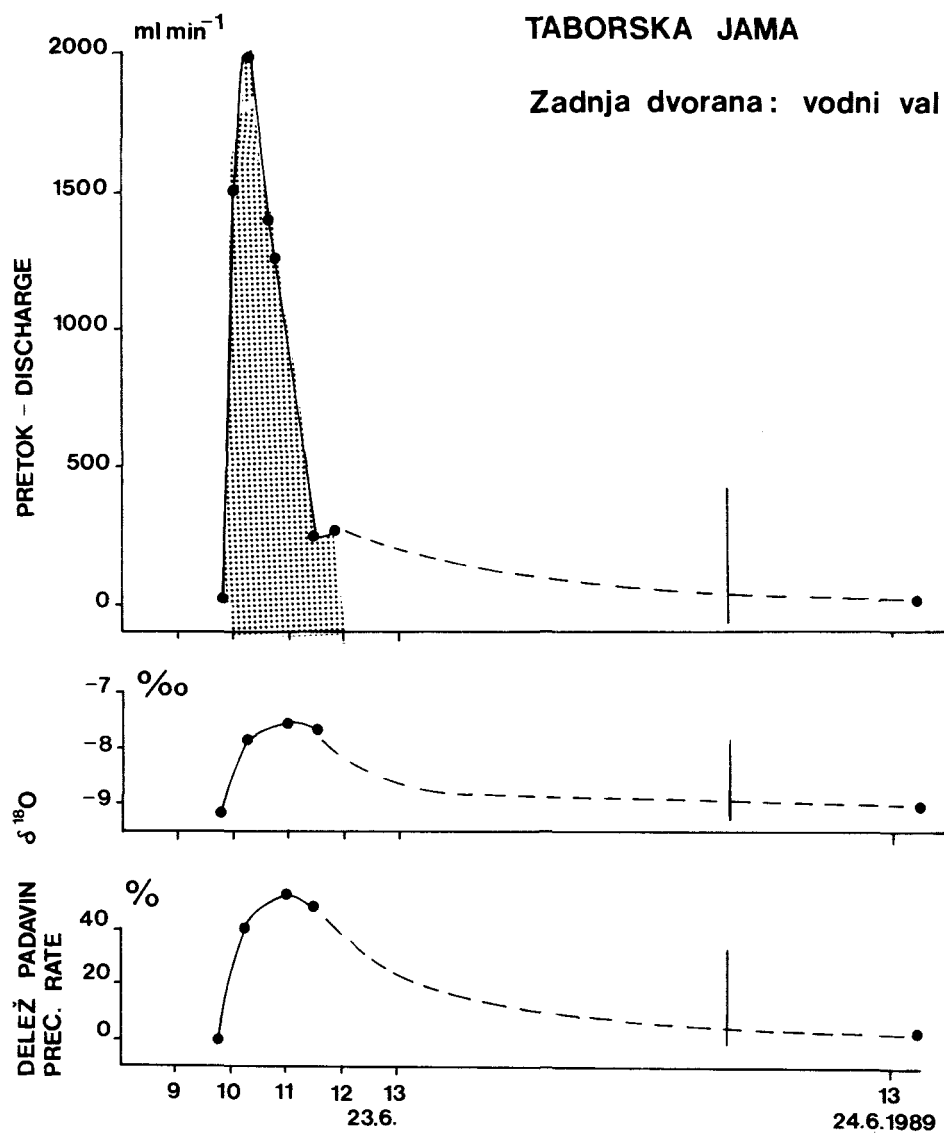
pretoka (slika 1). Vidimo tudi, da se je  $\delta^{18}\text{O}$  vode že po enem dnevu po padavinah praktično vrnil na začetno vrednost, ali drugače, že po enem dnevu po padavinah je v curku iztekal le bazni tok.

Iz povedanega lahko sklepamo, da v zaledju tega curka prevladujejo strukture, ki vodo močno zadržujejo in homogenizirajo, na hitro pa prepustijo le močnejše padavinske nalive. Močno povečan pretok ob sorazmerno majhnem deležu zadnjih padavin v curku si lahko razlagamo le s pospešenim iztiskanjem starejših vod zaradi povečanega hidravličnega pritiska v sistemu. Podobno so se v predhodnih raziskavah obnašali tudi curki v Planinski jami (Pezdič et al., 1984) ter v Divaški jami (Urbanc, 1989).

Po vodnem valu se je večina vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  gibala okoli -8.9 ‰ torej so bile približno 0.2 ‰ bolj pozitivne (tabela 1). To pomeni, da so v baznem toku začele prevladovati pole tne vode s pozitivnejšimi vrednostmi  $\delta^{18}\text{O}$ . Naslednja tabela prikazuje izotopsko sestavo skupnega anorganskega ogljika v vodi.

Tabela 2: Izotopska sestava skupnega anorganskega ogljika v vodi curka v Zadnji dvorani.

čas	$\delta^{18}\text{O}$ vode na curku (‰)
19.6. - 23.9. 1989	- 15.80
23.6. (10.00 - 10.30)	- 16.92
" (10.30 - 11.20)	- 16.32
" (11.20 - 11.50)	- 16.68
23.6. (11.50) - 24.6.	- 16.41



Slika 1: Pretok vode, izotopska sestava kisika ter delež padavinske vode v curku v Zadnji dvorani Taborske jame.

Fig. 1: Water discharge, isotopic composition of oxygen and the rate of rainwater in the trickle in Zadnja dvorana of Taborska jama

Izmerjene vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  v vodi so bistveno nižje od meritev v jamah notranjskega in primorskega krasa (Pezdič et al., 1986, Urbanc, 1989). Nižje vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  lahko

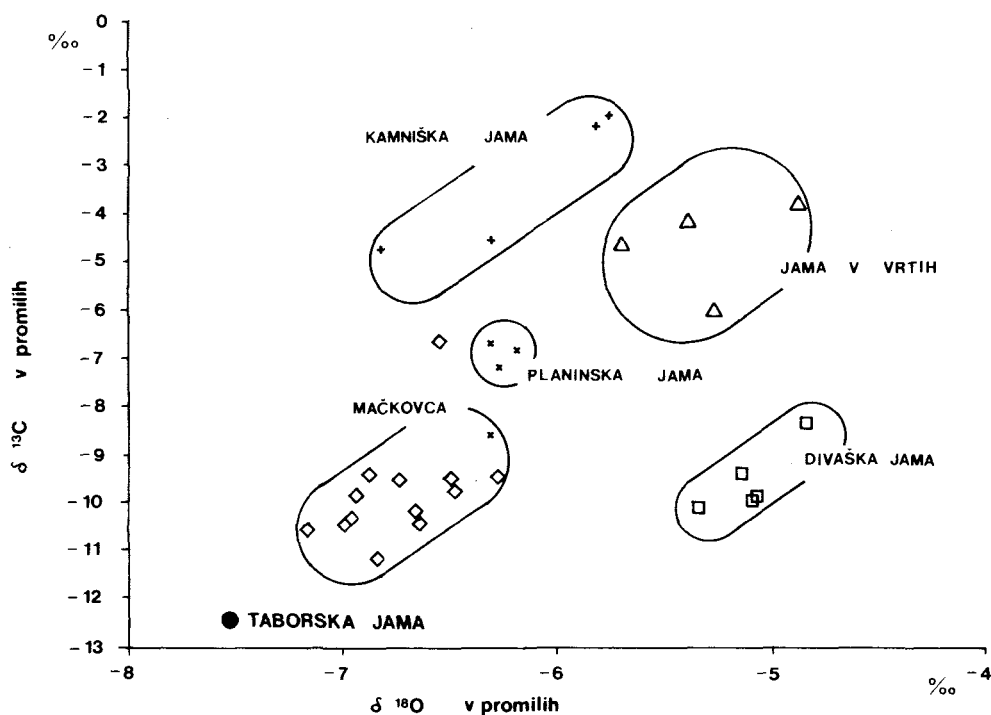
pripišemo drugačni klimi, s tem pa drugačnemu razkroju organskih snovi v tleh ter izpiranju  $\text{CO}_2$  iz tal.

Bolj negativne vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  v vodi se odražajo naprej tudi v sigi. Analiza recentne sige je pokazala sledečo izotopsko sestavo:

$$^{13}\text{C} \text{ (PDB)} = -12,22 \text{ ‰}$$

$$^{18}\text{O} \text{ (PDB)} = -7,58 \text{ ‰}$$

Slika 2 prikazuje primerjavo izotopske sestave recentne sige iz Taborske jame z recentnimi sigami iz nekaterih drugih slovenskih jam.



Slika 2: Izotopska sestava ogljika in kisika v recentni sigi iz Taborske jame v primerjavi z recentnimi sigami iz drugih jam v Sloveniji.

Fig. 2: Isotopic composition of carbon and oxygen in recent flowstone from Taborska jama compared to recent flowstones from other caves in Slovenia

Vidimo, da so tako vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  kot  $\delta^{18}\text{O}$  najnižje od doslej izmerjenih. Kot smo že omenili, so zelo negativne vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  v sigi pogojene s klimo oziroma procesi v tleh, medtem ko je izotopska sestava kisika v sigi pogojena z več dejavniki: izotopsko sestavo padavin, temperaturo v jami in stopnjo izpada karbonata iz vode.

## LITERATURA

- Kogovšek, J., 1990: Značilnosti pretakanja padavin skozi strop Taborske jame. *Acta carsologica*, 19(1990), 139-156, Ljubljana
- Pezdič, J., Leskovšek-Šefman, H., Dolenc, T., Urbanc, J., 1984: Isotopic study of karst water. Končno poročilo IAEA, 47 p., Ljubljana.
- Pezdič, J., Dolenc, T., Krivic, P., Urbanc, J., 1986: Environmental isotope studies related to ground-water flow in the central Slovenian karst region, Yugoslavia. *Proceedings 5th SUWT*, 91-100, Atene.
- Urbanc, J., 1989: Izotopska sestava ogljika v počasi iztekajočih kraških vodah. Magistrsko delo, 121 p., Ljubljana.

## ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN WATERS FROM TABORSKA JAMA

### Summary

The measurements of isotopic composition of oxygen in water have shown, that during the water pulse in the trickle "Curek na kopo" 50% of rainwater at most appeared, although the discharge in this time augmented for more than 100%. This phenomenon could be explained by increased hydraulic pressure in the system and connected squeezing of older waters. In first day after water pulse the isotopic composition of oxygen in water practically returned to its former value, meaning that older water from the basic flow appeared in the trickle after one day already.

It all evidence that there are structures above the trickle homogenising the rainwater and letting through rainshowers for relatively short time only.





**SKALNE OBLIKE V DVEH  
POLIGENETSKIH JAMAH VISOKEGA  
KRASA**

**ROCKY FEATURES IN TWO POLYGENETIC  
CAVES OF HIGH KARST**

**Tadej SLABE**

**Izvodček**

UDK 551.442.4(497.12-14)

**Slabe, Tadej: Skalne oblike v dveh poligenetskih jamah visokega krasa**

Skalne oblike v Volčji jami (nadm. v. 1055 m) na Nanosu in Ledenici na Dolu (nadm. v. 955 m na Trnovskem gozdu (Slovenija, YU) pričajo o njunem pestrem razvoju. Volčja jama ima sledi oblikovanja v zalitem podzemlju, obe pa sta bili zapolnjeni s poplavno drobnnozrnato naplavino. Sprva nižinski jami je tektonsko dvigovanje ozemlja in nižanje obrobni dolin spremenilo v gorski. Za te pa je značilno današnje večinoma razpršeno navpično pretakanje vode. Pogostni vdori mrzlega zraka s površja pospešujejo zmrzovanje vlage v jami in razpadanje pretrtega skalnega oboda.

**Abstract**

UDC 551.442.4(497.12-14)

**Slabe, Tadej: Rocky features in two polygenetic caves of High Karst**

Rocky features in Volčja jama (1055 m a.s.l.) on Nanos Mt. and in Ledenica na Dolu (955 m a.s.l.) on Trnovski gozd (Slovenija, YU) evidence their complicated genesis. At first low lying caves, Volčja jama namely contains the traces of transformation in overflooded underground, and both are filled up by flood fine-grained sediments, were by tectonical uplifting of the area and by simultaneous lowering of border valleys changed into mountainous caves later. For such type dispersed vertical water percolation and irruptions of cold air from the surface are characteristic in particular, accelerating the weathering of crushed rocky rim by moisten freezing in the cave.

**Naslov - Address**

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

## V s e b i n a

Uvod.....	169
Volčja jama in skalne oblike v njej.....	170
Sledi vodnega toka v jami.....	172
Kotlice, ki so nastale ob stiku z naplavino.....	173
Razpadanje in krušenje skalnega oboda rovov.....	174
Oblike, nastale s prenikanjem in polzenjem vode.....	177
Kondenzna korozija na skalnem obodu.....	181
Biogena korozija.....	182
Ledenica na Dolu in skalne oblike v njej.....	184
Oblike, nastale ob stiku z drobnnozrnatim sedimentom.....	185
Razpadanje in podiranje skalnega oboda.....	186
Sledi polzenja agresivne vode.....	187
Sklep.....	194
Literatura.....	195
Rocky features in two polygenetic caves of high Karst (Summary).....	196



## UVOD

Visoki dinarski kras je območje hribovij in visokih planot Notranjske in Dolenjske, ki dosegajo višine do 1800 metrov (P. Habič, 1975, 81). Je večinoma enostavno odtočno kraško območje. Vode, ki razpršeno navpično prenikajo skozi poraslo površje, se razlivajo na vse strani, združujejo pa se v izvirih na robu nižjih dolin ali kraških polj, ki poleg območij manj prepustnih tal, predstavljajo višine prelivov in uravnavajo globino podzemne vode. Geološka zgradba, prelomljenost v dinarski in alpski smeri, razpokanost in nagnjenost skladov so poleg velike razčlenjenosti površja, ki omogoča odtok vode na vse strani, odločilni dejavniki, ki usmerjajo odtekanje podzemeljskih voda. Vodni režim neposredno usmerjajo padavine, ki hitro vplivajo na pretoke v izvirih (P. Habič, 1982, 14).

Posledica takšnega podzemeljskega pretakanja vode v visokem krasu so tudi značilne kraške votline. Teoretski tip enostavnega odtočnega krasa je jamski sistem z vhodnimi brezni, s stopničasto razvrščenimi brezni in vmesnimi meandri v osrednjem delu, s položnimi rovi pred izvirom ali z globljim sifonskim izvirom. Nam pa so doslej dostopni naslednji tipi jam: 1. enostavna brezna različnih velikosti; 2. večji sistemi globokih brezen, ki so nastali v bližini tanjših plasti fliša ali dolomita, pa tudi ob nekdanjih ledenikih in snežiščih (P. Habič, 1982, 15); 3. globoki dolinski sifonski izviri in visokovodni preliv Veliki Hubelj nad Ajdovščino; 4. poligenetske jame, ki so stare vodoravne ali položne jame na različnih nadmorskih višinah in so prepletene z brezni ter meandri. Poseben mikroklimatski tip so ledenice.

Tako kot za večino jam na visokem krasu je tudi za Volčjo jamo na Nanosu in Ledenico na Dolu na Trnovskem gozdu značilno prevladujoče navpično pretakanje korozijsko agresivne deževnice in snežnice ter razpadanje skalnega oboda, ki ga pospešuje penikajoča voda, ki ob vdorih mrzlega zimskega zraka zmrzuje.

Že sama oblika Volčje jame s položnimi rovi pa nam priča o nastanku v povsem drugačnem okolju, kot je današnje. Po usmerjenosti in nagnjenosti rogov bi lahko sklepali na delovanje tekoče vode s površja v notranjost, čeprav je nagib lahko le posledica nagnjenosti skladov, s katerimi so rovi konkordantno nastali. Opisane oblike skalnega oboda navajajo k trditvi, da se je rov oblikoval v zaliti coni. Vprašanje, ali je bila jama občasno zalita, kot kaže sediment, in če je bila izvirna, terja še odgovor. Jama je bila kasneje v celoti zapolnjena s sedimentom, kar dokazujejo podsedimentne kotlice, ki so ohranjene ponekod na stenah in stropu rogov. Tudi na majhnem delu stene v spodnji polovici Ledenice na Dolu so ohranjene podsedimentne oblike kot sledi starejših razvojnih obdobj.

Za proučevanje skalnih oblik v izbranih jamah sem se odločil zaradi spoznanja, da so prav te oblike pomembna sled raznovrstnega razvoja naših kraških jam. Skušal sem predstaviti večino oblik, ki mi jih je uspelo razpoznati.

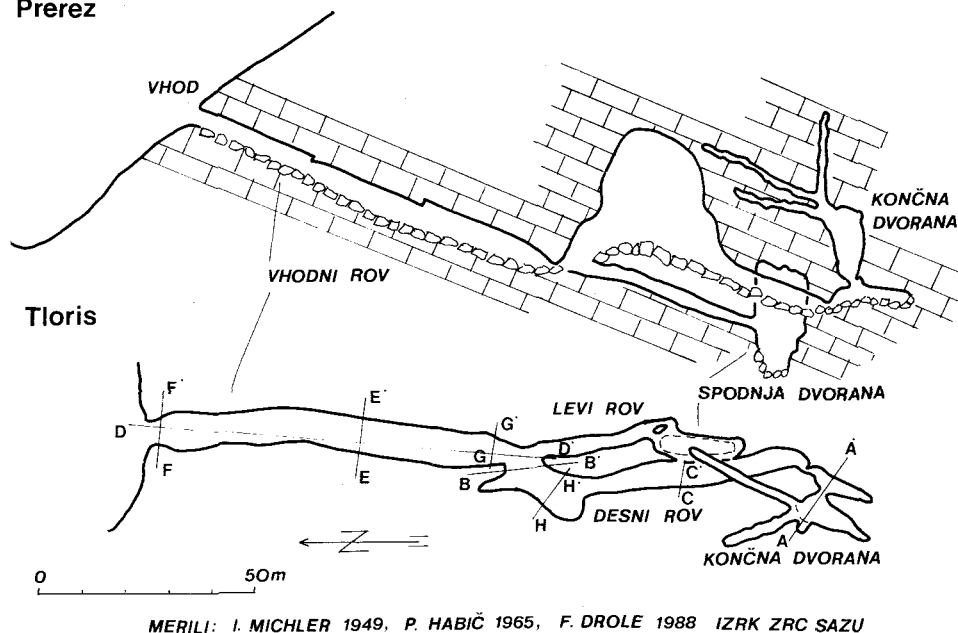
## VOLČJA JAMA IN SKALNE OBLIKE V NJEJ

V jamskem katastru in v literaturi (R. Jeannel et E.G. Racovitza, 1918, 302, P. Habič, 1964, 25) se jama imenuje Volčja, zato bom ime obdržal, čeprav je po ustnem izročilu gozdarjev, ki sem jih srečeval na poti v jamo, dobila ime po ovčah, kot domačini imenujejo ovce.

Na severovzhodni strani Nanosa (5075590/5427885) se na nadmorski višini 1055 metrov z mlajšim podornim vhodom odpira splet rogov Volčje jame. Vhod je na južnem pobočju večje vrtače (sl.1).

## VOLČJA JAMA NA NANOSU 743

Prerez



MERILI: I. MICHLER 1949, P. HABIČ 1965, F. DROLE 1988 IZRK ZRC SAZU

Sl. 1 Načrt Volčje jame

Fig.1 The survey of Volčja jama

P. Habič (1964, 25) povezuje nastanek jame s prvotnimi vodnimi tokovi. Je namreč edina znana vodoravna jama v obsežnih robnih uravnavah na jugozahodni strani Nanosa.

Jama je nastala v skladih zgornje jurskega belega apnenca in v vmesnih skladih belega zrnatega dolomita (Geol. karta, list Postojna, Geološki zavod Ljubljana, 1962), ki so debeli od nekaj desetink pa tudi preko metra in ki vpadajo v smeri  $240^\circ$  pod kotom  $34^\circ$ . Kamnina je preprežena s pokončnimi razpokami ( $75-90^\circ$ ), ki potekajo v smereh sever - jug, severovzhod - jugozahod in severozahod - jugovzhod.

Jama je sestavljena iz 400 m položnejših rogov, ki vpadajo konkordatno s skladi

kamnine od pobočja v notranjost Nanosa in potekajo vzporedno v več višinah. Povezani so z mlajšimi podori. Poglobitev v brezno na spodnjem delu jame je posledica prenikanja vode s površja.

Menjavajo se rovi visokih špranjastih prečnih prereзов, kot sta 10 m široka in 18 m visoka Končna dvorana in 15 m visok Desni rov, nad katerima se dvigujejo kamini in rovi, ki so okroglastih prečnih prereзов. Najlepši takšen primer je spodnji del Desnega rova. Ob skladih nazobčani obodi rogov so posledica različne sestave in trdnosti kamnine.

Tla so prekrita s podornimi bloki in ilovico, starejšo sigo pa je najti le v Levem rovu. Peščenoglinen sediment, ki je v celoti zapolnjeval jamo, je ohranjen ponekod v stenskih zajedah, ki so nastale ob lezikah, v manjših kanalih v stenah in stropu rogov in pa v stenskih in stropnih podsedimentnih kotlicah. Peščenoglinene lutke, ki zapolnjujejo kotlice, so ohranjene predvsem na stenah, iz kotlic v stropu pa so večinoma že odstranjene. Lutke so v majhnih kotlicah ohranjene kot kroglice, v večjih pa kot podolgovate polkrogle. Oblika in velikost lutk je torej določena s prostorom sedimentacije. Na položnih policah stenskih zajed ob lezikah, kjer se je več sedimenta ohranilo dlje, pa je dokaj enakomerna 2 cm debela plast sprijetega sedimenta. Podobna sedimentna obloga je ohranjena tudi v manjših kanalih. Tudi ti so bili dlje časa zapolnjeni s sedimentom. Mineraloško analizo peščenoglinene lutke je z metodo rentgenske difraktometrije in presevalne optične mikroskopije naredila N. Zupan (1990, 18). Klastični sediment je bil v jamo prinešen z vodo. V lutkah prevladuje kalcit. Drobna zrna iz osnove so nastala pri razpadanju apnenca in so prinesena v jamo, sekundarni kalcit pa je kristaliziral v razpokah in porah. Illit je netopen ostanek apnenca. Vzorec je še porozen, čeprav večino por že zapolnjujejo drobnozrnati Mn minerali, ki nastanejo pri preperevanju karbonatnih kamnin. Lutka je bila podvržena diagenezi, ki vključuje staranje in dehidratacijo Fe hidroksidov, zato je že precej strjena. Lutke, ki so ohranjene v kotlicah, so nastale s kristalizacijo kalcita, ki je bil raztopljen v porni vodi sedimenta. Ko je bil iz jame odstranjen sediment, se je prekinilo obnavljanje porne vode, ki je povzročala korozijo in voda je začela izhlapevati. Koncetrična kristalizacija je povzročila nastanek kroglastih lutk.

Čeprav sistematičnih raziskav jamske klime nisem opravil, pa lahko na podlagi nekajkratnih merjen temperatur in gibanja zraka, ter opazovanj ledu in megle, sklepam o klimatskih razmerah, ki so pomembne za kondenzacijo in zmrzovanje vlage na skalnem obodu. Poleti sem v ozkih prehodih med Končno dvorano in Desnim rovom nameril hitrost zraka 1,5 m v sekundi ter med Desnim in Vhodnim rovom 0,5 m na sekundo. Zrak, ki je imel na dnu jame okoli 3°C, se je prelival nad tlemi proti toplejši zunanosti in se usedal na dno vrtače pred vhodom, kjer je nastal toplotni obrat. Še v prvih metrih pred vhodom je bila plast zraka nad tlemi več kot 10°C hladnejša od zunanjega, ki je 15.7.1988 dosegel 19°C. Skozi kamine v Končni dvorani, kjer sem nameril najvišjo zračno temperaturo v jami, pa je vdiral toplejši zrak s površja. Ta se ob hladnih stenah rogov ohlaja in s kondenzacijo se izloča vlaga. Pozimi vdira mrzel zrak s površja v toplejšo jamo in povzroča zmrzovanje vlage. Na mestih, kjer skozi razpoke in ob lezikah prenika voda, nastanejo ledene sveče in na tleh ledeni kapniki.



## SLEDI VODNEGA TOKA V JAMI (tabela 1)

Desni rov se na jugu, torej v notranjosti jame, zaključuje z veliko kupolasto nišo (sl.2), ki je široka 4 m, visoka pa 3 m. Kupolaste niše, široke 2 m in visoke 1 m, se povezano nadaljujejo v stropu strmega rova, ki iz Desnega rova vodi v Končno dvorano. Tla spodnje niše so prekrita z ilovico, v kateri so vodoravne, do 20 mm debele plasti sige.



Sl. 2 Prečni prerez kupolastih niš med Desnim rovom in Končno dvorano

Fig.2 Cross section of sigmoid niches between Desni Rov and Končna Dvorana

Spodnja niša je oblikovana prek več skladov kamnine, ki so le z majhnimi stopnicami vidni v steni. Tudi zgornje manjše kupolaste niše so vezane na skladovitost kamnine. Nastale so z odnašanjem kamnine manj odpornih skladov v temenu raztegnjene gube in mejni prehodi med nišami so tako tudi stiki različnih skladov kamnine. V skalni obod niš so zajedene plitke, do 1 m široke kotlice. Opazimo jih tako v stropu in v stenah kupol, njih osi pa imajo različne naklone. Celoten obod niš je preoblikovan z razjedami, ki so nastale ob stiku s sedimentom in tako so starejše oblike težje razpoznavne.

Domnevam, da so opisane oblike osamljena sled vodnega toka, ki se je pretakal po jami še pred njeno zapolnitvijo z drobnozrnatim sedimentom. Nastale so, ko se je v zaliti jami pretakal počasen vodni tok in je vrtinčenje z zrakom, ki se je nabiral pod stropom rova, pospešilo korozijo. Ilovica, ki se menjava s plastmi sige na dnu spodnje niše, pa kaže na občasno zalitost rova.

### **KOTLICE, KI SO NASTALE OB STIKU Z DROBNOZRNATO NAPLAVINO**

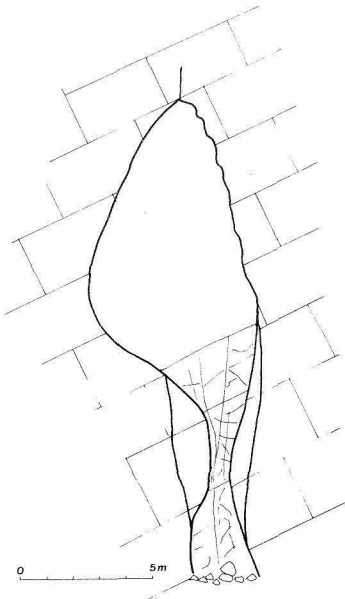
Kotlice so najlepše ohranjene pod sedimentom, ki jih zapolnjuje. Kot nam kaže odsek zahodne stene Vhodnega rova, se na majhni površini menjavajo kotlice različnih velikosti in različnih oblik. Prevladujejo kotlice s premerom do 0,1 m, so pa tudi večje, njihov premer meri 0,2 m in več. Večje kotlice so praviloma plitke in razmerje premera in globine je okoli 5 : 2, pri manjših pa se lahko razmerje obrne tudi globini v prid. Velike kotlice so pravilnejših oblik s položnimi stenami in gladkim dnom. Manjše pa so lahko nad dnom razširjene in sestavljene iz več vdolbinic. Velike kotlice so podolgovate vzporedno s skladovitostjo. Ob lezikah so nastale tudi vdolbine, ki so bolj podobne žlebovom kot kotlicam. Tipične podsedimentne kotlice so tesno skupaj in med njimi so ostale le tanke in krhke stene. Na stropu nad dnom Vhodnega in spodnjega dela Desnega rova, kjer je sediment iz kotlic že skoraj povsem odstranjen, je kotlice zaoblila kondenzna korozija in te oblike spominjajo na fasete. Vendar nam druge značilnosti, kot so oblika, redki ostanki sedimenta in manganova obloga, dokazujejo podsedimentno poreklo kotlic. Kotličaste razjede so ohranjene na delih stropa in sten rovov. Sediment je torej zapolnjeval vso jamo.

Vlaga v porah peščenega sedimenta, ki je zapolnjeval rove, je raztapljala zrna apnenca v sedimentu in skalnem obodu. Kamnina se je najhitreje raztapljala ob razpokah in vzdolžno ob skladih. To so tudi osnovne smeri oblikovanja podsedimentnih kotlic. Zaradi povečevanja količine vode v sedimentu, ki jo je adsorbiral zlasti illit, ki je netopni preostanek karbonatnega dela sedimenta, se je povečevala tudi prostornina sedimenta. Nabrekli sediment je zato omogočal nadaljnje razjedanje ob razpokah. Prenikanje korozijsko agresivne vode skozi velike razpoke in prosti odtok vode iz rova sta omogočala obnavljanje vode v sedimentu. Podsedimentne kotlice, nastale ob razpokah in bolj topnih delih kamnine, si lahko pomagamo razložiti tudi s teorijo A. Langa (1959), ki pojasnjuje nastanek in razvoj speleogenov, ko z enakomerno površinsko korozijo izbočeni deli ostajajo oglati, vbočeni, in ob razpokah pa se zaoblijo. Površina podsedimentnih kotlic je gladka, saj je kamnina oboda dokaj homogena in večinoma prevlečena z Mn minerali, ki so preostanek preperevanja karbonata. Štrleči deli med gostimi razpokami so se izravnavali, saj je njihova korozijska površina večja. Najprej so nastale posamezne, redkeje razporejene manjše vdolbinice (sl.5), ki so se na mestih, dlje časa obdanih s sedimentom, večale in tudi razčlenjevale. Stene kotlic so se hitro tanjšale in kotlice so se ponekod povezale. Tako so na stičiščih več kotlic ostale le še štrline.

## RAZPADANJE IN KRUŠENJE SKALNEGA OBODA ROVOV

Razpadanje in krušenje pretrte kamnine, še zlasti manj trdnega dolomita, je bilo pomembno že pri nastajanju jame, je pa še danes najpomembnejši proces preoblikovanja skalnega oboda rogov Volčje jame.

Kamnina razpada ob lečasto porušeni coni v Končni dvorani. Sistem razpok, ki prečijo lezike v spodnjem delu severne stene (sl. 3), predstavlja spodnji del lečasto porušene cone z osjo v naklonu  $80^\circ$  in smerjo vpada  $120^\circ$ . Za porušeno cono (J. Čar, 1982, 87), tokrat gledano v velikostnem razmerju rova, je značilen gost sistem kaotično razporejenih krajših in daljših prelomnih ploskev, pretrta kamnina pa je razdeljena v bloke, ki so slabo sprijeti. Lečasta oblika je posledica različnih tektonskih pritiskov, ki so delovali na kamnino. V leči lahko ločimo bolj pretrto in drobno razpokano kamnino na zožitvah, v osrednjem delu pa manj prepokano kamnino, ki pa je večinoma že odstranjena. Na tem mestu je danes votlina. Sklepamo lahko, da so bile špranjaste razpoke v osrednjem delu lečasto porušene cone za vodo bolj prepustne in bloki kamnine slabše povezani, kar je pospešilo nastanek prostornejšega rova. Proces površinskega razpadanja in podiranja pretrte kamnine lečasto porušene cone pa se nadaljuje še danes. Nastanek porušene cone je povezan s tektoniko širšega območja in za razlago bi bil potreben študij prostorske analize sistema razpok, njihovih geometrijskih značilnosti in razmerja razpok do skladovitosti kamnine.



Sl. 3 Lečasto porušena cona v Končni dvorani

Fig.3 Lense-shaped broken zone in Končna Dvorana

Zaradi razpokanosti in teže se rušijo skladi stropa v širših rovih. Kjer je strop preprežen z večjimi, a redkimi razpokami, odpadajo večji bloki skladov, na mestih, kjer je kamnina gosto pretrta pa je strop obokan. Počasno razpadanje stropa je možno le v apnenčastih skladih, dolomit namreč hitreje razpada, torej je strop v širših jamskih prostorih apnenčast (sl.4).



Sl. 4 Vhodni rov

Fig.4 Entrance passage

Zaradi razpadanja kamnine v stropu rogov so se podorno povezali rovi, ki so nanižani v različnih višinah. Podori so povezali Desni in Levi rov, Vhodni rov z Levim ter Desni rov s Spodnjo dvorano. Podori so mlajši, nastali so po izpraznitvi sedimenta, ki je zapolnjeval jamo, in na svežih odlomnih površinah so ponekod le žlebiči, ki jih je izdolbla prenikajoča voda.

V rovih lahko opazujemo primere širjenja ob delih vzhodnih in severovzhodnih sten, kjer skladi visijo navzdol proti rovu in je tako omogočeno odpadanje vmesnih hitre-

je razpadajočih skladov dolomita. Hitrejše razpadanje manj trdnega dolomita, ki se vrši še danes, je povzročilo, da ponekod štrlijo iz sten trdnejši apnenčasti skladi. Zaradi razpokanosti se skladi lomijo in veliki bloki kamnine se kopičijo na tleh.

Dobro razvidna je razlika v krušenju apnenca in dolomita. V zahodni steni je, zaradi goste pretrtosti apnenca nad nizkim podornim prehodom v notranjost jame, nastal z odpadanjem manjših kosov kamnine 0,1 m globok in na sredini 0,15 m širok odlom z  $1\text{ m}^2$  površine. Nastal je na konkavni strani lomljene razpoke, ki jo je prenikajoča voda razširila v 20 - 30 mm široko špranjo. Kompaktnost kamnine je tu najbolj porušena. Mrežo razpok lahko razberemo iz kalcitnih žilic na površju kamnine, ki razmejujejo površine od  $20\text{ mm}^2$  do  $0,2\text{ m}^2$ . Ravne ali lomljene razpoke kosajo kamnino na površju v pravokotnike, raztegnjene krivulje pa v dele bolj ali manj pravilnih elips. Ploskve ob razpokah se držijo tesno skupaj. Odlomljeni kosi so nepravilnih kockastih ali kvadrastih oblik, z ravnimi ali krivimi ploskvami, ki opozarjajo na večjo prožnost kamnine. Kljub gosti pretrtosti je razpadanje apnenca manj izrazito in počasnejše kot razpadanje dolomita.



Sl. 5 Podsedimentne vdolbinice v steni Desnega rova

Fig.5 Undersediment notches in Desni Rov wall

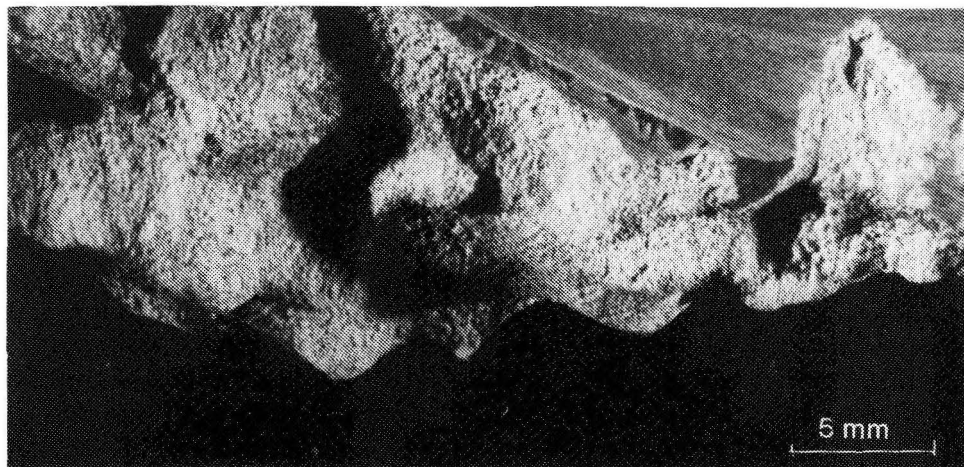
15 m od vhoda je na zahodni steni, 1,5 m nad tlemi, sklad drobno razpadajočega dolomita, ki je vzporedno s skladovitostjo pretrt v največ nekaj 10 mm debele luske. Kamnina je ob razpokah, kjer se z ravnimi ploskvami stikajo površine ostrorobih kosov, razrahljana. Omenil sem že tudi pravokotno na skladovitost krojive sklade dolomita. Za

oba primera pa je značilno, da je površje kamnine nazobčano sorazmerno z načinom razpadanja.

Razpadanje je torej pogojeno s pretrtostjo kamnine, težo pretrtih skladov v stropu večjih rogov, z vmesnimi skladi manj trdnega dolomita in zlasti v vhodnih delih tudi z vdiranjem mrzlega zimskega zraka v jamo ter tako z zmrzovanjem vlage v njej. Razpoke in lezike pa širi tudi prenikajoča voda.

### **OBLIKE, KI SO NASTALE ZARADI PRENIKANJA IN POLZENJA VODE**

Ponekod je korozijsko agresivna voda razpoke razširila v špranje ali pa so ob njih nastali manjši kanali s premerom do 10 cm, ki se v prečnem prerezu odpirajo v rov, ob stropnih razpokah pa so nastale kotlice. V jamo je prenikalo več vode kot danes, saj so nekatere špranje, večina kotlic in kanalov suhi. Prenikajoča voda je bila večinoma korozijsko agresivna, le v Levem rovu je namreč večja kopa stare sige.



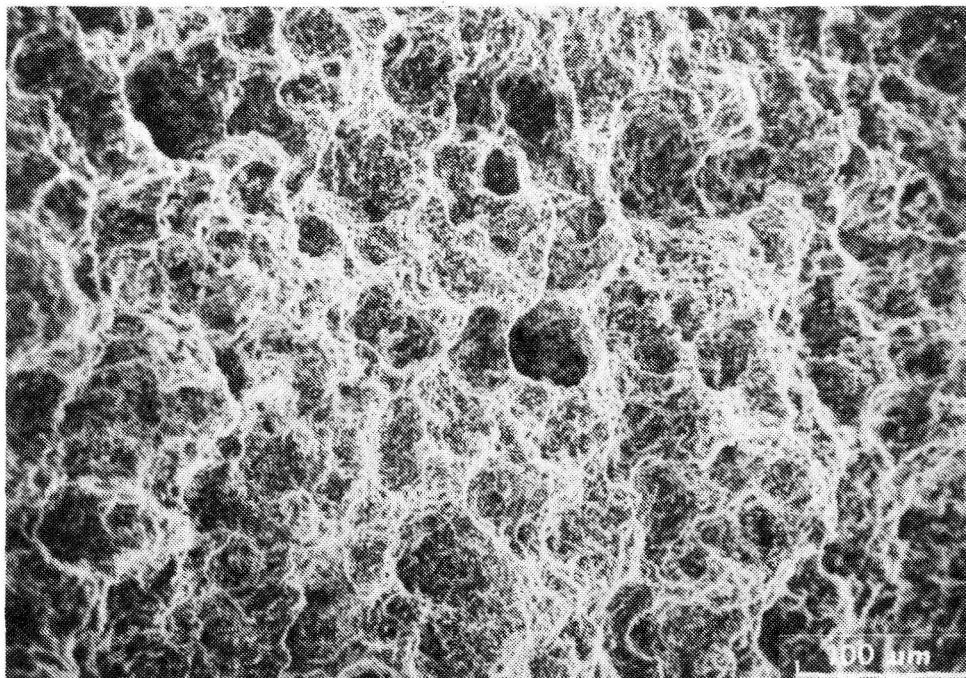
Sl. 6 Stropne konice v Vhodnem rovu

Fig.6 Roof points in Vhodni Rov

Zlasti izrazito je obod preoblikovan v kaminih nad Končno dvorano in v Spodnji dvorani, kjer s stropa skoraj celo leto prši voda in polzi po stenah in dnu. Nastajajo drobne oblike, katerih značilnosti so podrobneje opisane v poglavju o Ledenici na Dolu. Dodal bom le nekaj posebnosti.

Na ravni ploskvi skladovnega odloma apnenčastega stropa so od vhoda pa do roba odloma pri 17 m v notranjosti, nastale stropne konice trikotnega prečnega prereza z nekoliko zaobljenimi vrhovi. Dolge in široke so okoli 5 mm (sl.6). Do 1 mm debela prepe-rela skalna površina je drobno hrapava in krhka. Površina kamnine je dokaj enakomerno



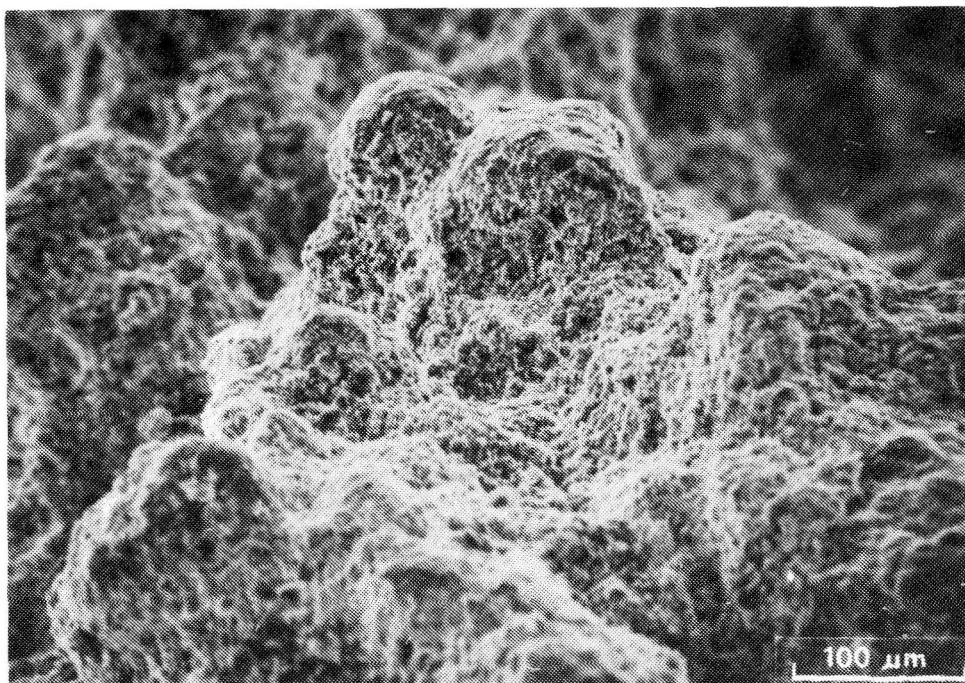


Sl. 7 Razjedena skalna površina med konicami

Fig.7 Dissolved rocky surface among points

prevlečena s filmom vlage, le na konicah so posamezne kapljice. Pod vrstičnim mikroskopom sem razločil različno razjedenost površja konic in vmesnih vdolbin. Razjede v vdolbinah so večje in globlje (sl.7), na konicah pa manjše (sl.8). Med luknjičastimi razjedami so razčlenjene, navzdol usmerjene štrline. Konice nastanejo zaradi neenakomernega raztapljanja nehomogene kamnine pod tankim filmom prenikajoče vode, ki se razliva po stropu. Voda se zbira na delcih kamnine, ki štrlijo iz stropa. Ker pa je ta voda že manj agresivna, se razlika med konicami ter vmesnimi vdolbinicami še povečuje. Tudi manjše štrline na skalni površini so slabše topni in netopni preostanek kamnine, ki deloma zavira nadaljnje razjedenje.

Na stropu spodnjega dela Desnega rova in v skladu apnenca, ki štrli iz stene v zgornjem delu Desnega rova (sl.9) so nastale stropne kotlice. Kotlice na obodu zgornjega dela Desnega rova so pokončnih zvonastih oblik s premerom odprtine od 0,1 do 0,15 m in globoke 0,15 m. Obod kotlic je gladek, na njihovem dnu pa se odpira majhen dotočni kanal s premerom 10 mm. S površja prenikajoča voda, ki se zbira na položnem skladu apnenca, si je utrla pot skozi drobne razpoke, ob katerih si je izdolbla prevodne kanalčke in tako na spodnjem delu sklada nastajajo kotlice. Voda, ki prenika skozi majhne kanale ob razpoki, se, ko doseže rov, razleze po skalni površini. Večja vodna površina omogoči

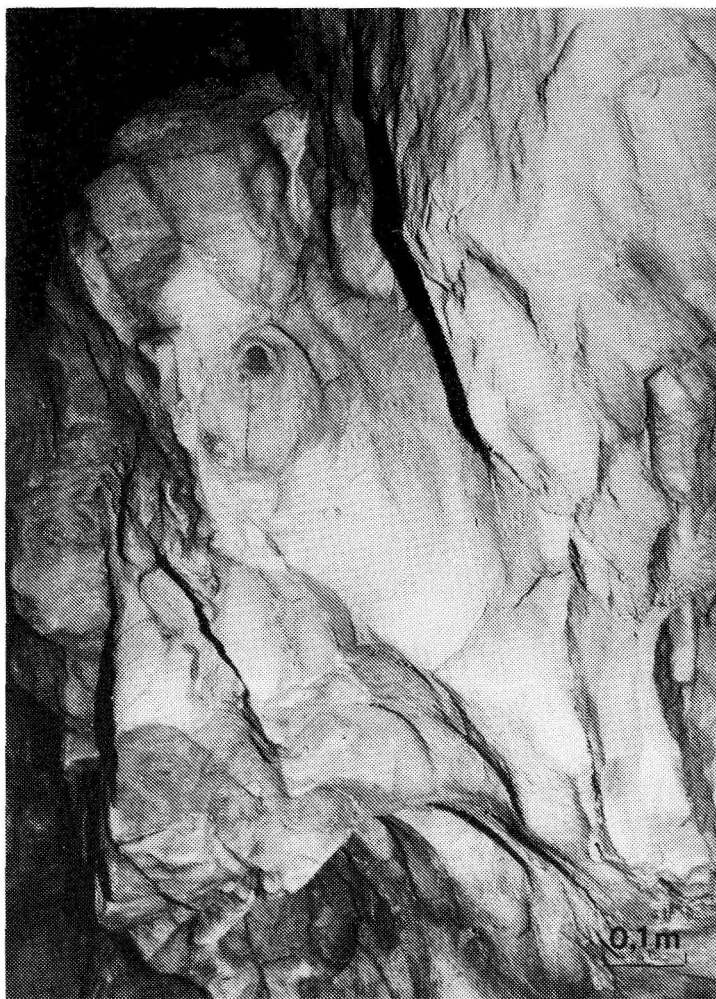


Sl. 8 Površina stropnih konic

Fig.8 The surface of roof points

enaki vodni količini večji korozijski izkoristek, lahko pa voda tudi prevzema  $\text{CO}_2$  iz zraka, seveda, če je ta koncentracija večja od tiste v vodi. Ob razpoki navzgor začne rasti kotlica (W. H. Franke, 1975). Os kotlice je zaradi težnostnega oblivanja vode navpična. Na nagnjenem stropu je kotlica v smeri nagiba podaljšana in se plitkeje izklini kot zgornja polovica. Gladka površina kotlice je posledica načina oblivanja kotlice z večjo količino vode. Ker se voda težnostno zbira na štrlečih delcih kamnine, so ti podvrženi hitrejši koroziji. Franke je ugotovil, da je premer kotlic sorazmeren s količino prenikajoče vode. Z večjim dotokom se premer poveča, z večjo korozijsko močjo vode pa se zmanjša in kotlica se hitreje pogloblja. Je pa ob določeni količini prenikajoče vode premer kotlice omejen. Za nastanek kotlice je potreben skoncentriran dotok vode, čeprav je kotlica lahko tudi sestavljena, ko je dotokov vode več. Ker imajo kotlice v jami majhne premere in so globoke, lahko sklepamo, da jih je oblikovala korozijsko dokaj agresivna prenikajoča voda.





Sl. 9 Stropne kotlice v Desnem rovu  
Fig.9 Roof solution cups in Desni Rov

#### **Laboratorijski poskusi oblikovanja stropnih kotlic v mavcu**

Skozi navpične kanalčke, ki so imeli premer 1,5 mm, se je iz vdolbine na vrhu mavčne kocke z ravnim dnom pretakala voda. Že po dveh urah je nastala vdolbinica, katere premer zunanjega roba je meril 50 mm, globoka pa je bila 2 mm. Čez uro se je poglobila še za milimeter, premer pa je ostal enak. Začel pa se je širiti dotočni kanal in z večjim pretokom se je vdolbinica poglobljala le še ob ustju, kjer je nastalo 2 mm široko in

3 mm globoko konkavno dno. Ker pa je mavec hitro topljiv (1,4 gr na liter), se je kanal hitro razširil, tok se je iz prvotnega laminarnega spremenil v turbulentnega in v kanalu so začele nastajati vdolbinice.

Da bi preprečili hitro širjenje kanalov, smo pri ostalih poskusih zmanjšali dotok vode. Mavec smo prekrili s spužvo, iz katere je enakomerno pronicala voda v kanal. Ob ustju so se razlivale posamezne kaplje. Nastala je vdolbinica, ki se je enakomerno širila in poglobljala. Po dveh dneh, ko smo poskus prekinili zaradi razširitve kanala, je bila vdolbinica široka 25 mm, globoka pa 7 mm. Opaziti pa je tudi počasno širjenje vdolbinice na 50 mm pas okoli nje (sl.10). Površina vdolbinice je gladka, obrobni pas, kjer se je vdolbinica šele začela oblikovati, pa je še hrapava.



Sl. 10 Stropna vdolbinica v mavcu

Fig.10 Roof notches in plaster

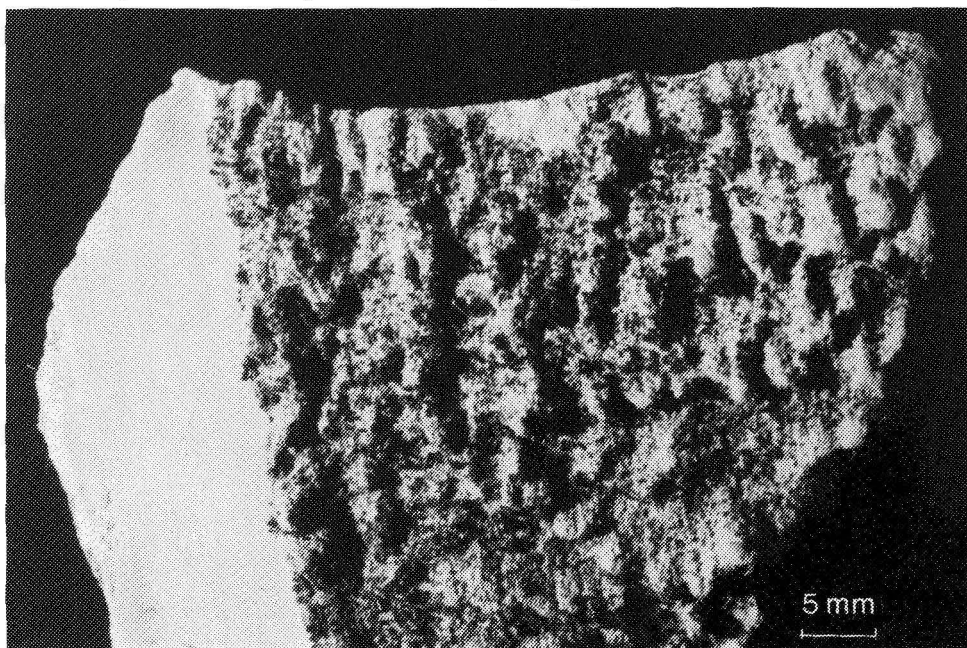
Največja težava pri poskusih v mavcu je njegova prehitra topljivost, ki onemogoča nastanek večjih vdolbinic ali kotlic, saj se dotočni kanali prehitro razširijo. Potrdili pa smo možnost nastanka stropnih kotlic, ki jih oblikuje prenikajoča voda.

## KONDENZNA KOROZIJA NA SKALNEM OBODU

Večina površja skalnega oboda, ki ni preoblikovano z najmlajšim razpadanjem in polzenjem agresivne vode, je preperela. Apnenec je 1,5 mm debelo, dokaj enotno preperel in razčlenjen z luknjičastimi razjedami (T. Slabe, 1988, 88). Korozijska je raztopila hitre-

je topno mikritno kamnino. Ponekod je površina preprejena z drobnimi kalcitnimi žilicami, ki štrlijo do 1 mm iznad ostale površine, so torej počasneje topljive kot biomikritni apnenec. Preperela površina kamnine je krhka in ko je vlažna, se ob dotiku njena oblika razmaže. Dolomitna kamnina ima le nekaj desetink mm debelo, manj izrazito preperelo površino. Iz drobnozrnatega dolomita štrlijo redki večji kristali.

Kondenzacija je šibka in vlage je premalo, da bi spirala raztopljenno kamnino. Manj topni in netopni deli kamnine ovirajo hitrejšo korozijo. Ko je kamnina suha, površina deloma kristalizira. Apnenec je hitreje topljiv kot dolomit. Kljub majhni kondenzaciji pa je korozija dovolj učinkovita, da je zaoblila tanke, iz oboda štrleče dele površja. Tako so zaobljene tanke stene med kotlicami, v katerih ni več sprijetega sedimenta, in robovi odlomov apnenca. Dolomit je večinoma hitreje krušljiv.

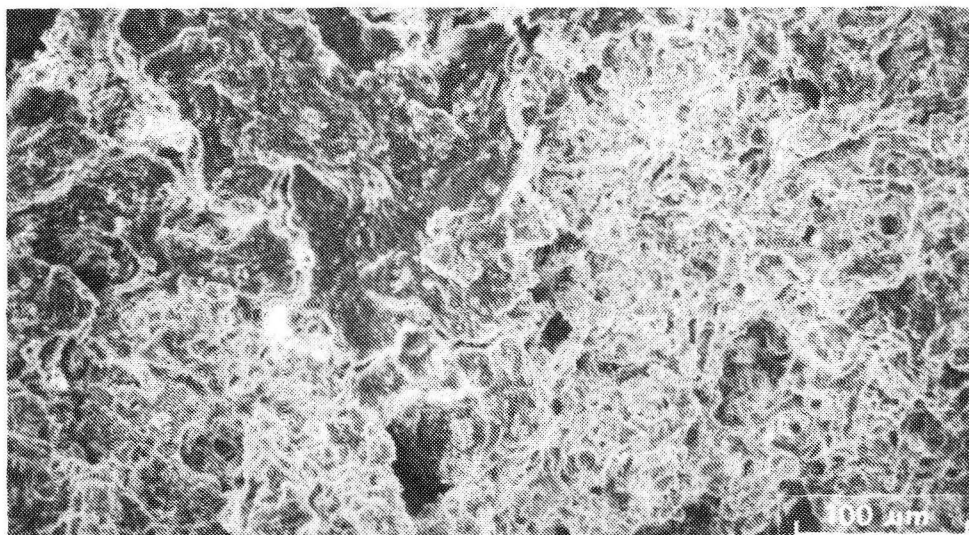


Sl. 11 Biogene razjede v steni v vhodnem delu jame

Fig.11 Biogenic burrows in the wall of the cave's entrance part

## BIOGENA KOROZIJA

Deli površja sten v prvih metrih Vhodnega rova, ki so obrnjeni proti izhodu in tako najbolj osvetljeni, so poraščeni z lišaji. Pod lišaji je skalna površina 2 mm debelo prepere-la in oblikovana v luskinasto se prekrivajoče, proti izhodu usmerjene štrline (sl.11). V majhnih luknjičastih razjedah med štrlinami so lišaji, ki so ponekod skozi štrline izjedli



Sl. 12 Temne lise lišajev, ki so zajedeni v biomikritni apnenec

Fig.12 Dark spots of lichens in biomicrotic limestone

Tabela 1: Skalne oblike v Volčji jami

		FREATIČNA CONA	VADOZNA CONA
K	vodnega toka	niše, kotlice	
O	podsed.		kotlice
R O	prenik. v.		kanali, kotlice
Z	polzeče v.		žlebiči, stropne konice
I	kondenzna		preperela skalna površina
J A	biogena		razjede pod lišaji
RAZPAD			odlomki, odkruški, podor, lečasto porušene cone

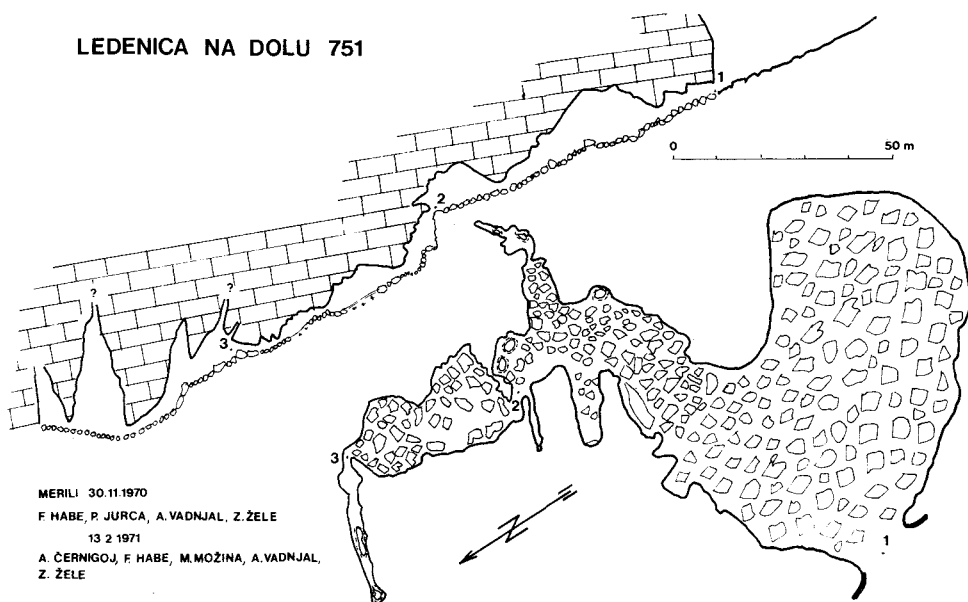
tudi kanalčke (sl.12). Pod povečevalno lupo so bile jasno razvidne majhne kroglice, v katerih je bila tekočina, ki je v suhem prostoru počasi izhlapela.

Predpostavljam, da pospešuje korcizio prav tekočina v lišajih na prisojnih delih neravne površine stene, čeprav njenih kemičnih lastnosti nisem ugotavljal.

## LEDENICA NA DOLU IN SKALNE OBLIKE V NJEJ

Jama (sl.13) leži na Trnovskem gozdu, severovzhodno od Predmeje (X= 5090400, Y=5414200) v nadmorski višini 995 m. Vhod v jamo se odpira na dnu vzhodnega pobočja vrtače.

Jama in kras v okolici sta nastala v belih in sivih oolitnih jurskih apnencih, v katerih so litiotide in megalodontide (Osnovna geološka karta SFRJ, Gorica 1:100 000, Zvezni geološki zavod, Bg. 1968). 80 m globoka jama z 250 m rovov je nastala ob enotni prelomni coni, ki vpada proti severovzhodu z naklonom  $35^{\circ}$ . Skladi apnenca, ki vpadajo z naklonom  $10^{\circ}$  in smerjo  $320^{\circ}$ , so pretrti s pokončnimi prelomi in razpokami, ki so jasno opazni v jamskem stropu in zlasti ob prelomnih zrcalih.



Sl. 13 Načrt Ledenice na Dolu

Fig.13 The survey of Ledenica na Dolu

Jama se torej postopoma pogloblja proti severovzhodu in se z ozkimi odseki ob izrazitejših prelomih in razpokah širi proti severozahodu ter jugovzhodu. Za vhodom se jama odpre v 50 m dolgo, 75 m široko in do 15 m visoko dvorano, ki se nadaljuje s 35 m dolgim in 15 m širokim rovom in se zaključi z 10 m globokim breznom. V nadaljevanju pa se postopoma poglobi še za 40 m. Ob razpokah se nad rovi dvigujejo izraziti, do 40 m visoki kamini, ki ponekod segajo skoraj do površja, s katerega prenika voda v jamo. Po kaminu v dnu jame pada v času topljenja snega ali močnega dežja slap s pretokom 30 litrov na sekundo. Skalni obod jame je večinoma podorno preoblikovan, le kjer skozi razpoke prenika voda, so v stenah sledi njenega polzenja. Sledi zapolnitve jame z drobnnozrnatim sedimentom pa so skoraj že povsem zabrisane.

O klimatskih značilnosti jame nam govori že samo ime, potrdijo pa merjenja temperature in opazovanja ledu v jami. Temperatura se znižuje od vhoda proti dnu. Od decembra do maja so temperature v srednjem delu jame, pri breznu, malo pod ničlo:  $13.2 = -1,4^{\circ}\text{C}$ ,  $3.4 = -0,2^{\circ}\text{C}$ , nato pa  $21.6 = 0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $5.9 = 1,6^{\circ}\text{C}$  in  $29.11 = 0,2^{\circ}\text{C}$ . Ledeni kapniki in stenske obloge, ki nastanejo z zmrzovanjem penikajoče vode, se v jami obdržijo do konca poletja, ponekod pa so plošče ledu na tleh tudi celo leto. Lega v dnu vrtače omogoči zimsko vdiranje mrzlega zraka v jamo. Ker pa je zračna cirkulacija šibka, se hlad zadržuje v jami preko celega leta. Nekoliko pa se zrak v jami segreva s toplejšo vodo, ki prenika s površja.

### **OBLIKE, KI SO NASTALE OB STIKU Z DROBNOZRNATIM SEDIMENTOM (tabela 2)**

Del vzhodne stene v začetku spodnje tretjine jame je značilno prepreden z ozkimi, med seboj gosto prepletenimi podsedimentnimi kanali okroglih ali ovalnih prečnih prerezov, s premerom do 50 mm. Nagnjeni so v različnih smereh in naklonih, prevladuje pa usmerjenost navzdol. Kamnina, v kateri so nastali, je drobno pokončno razpokana. V kanalih je ohranjeno še nekaj ilovice in ponekod, kjer je ostalo več sedimenta, je pretežno karbonatni sediment kristaliziral in se sprijel s steno. Oblikovanost stene spominja na podtalne skalne luknje (I. Gams, 1971, 29).

Jama je bila zapolnjena z drobnnozrnatim sedimentom in ob stiku z njim ter steno se je navzdol precejela voda. Voda je raztapljala kamnino ob drobnih razpokah in nanašala v špranje sediment, ob katerem je enakomerno razporejena korozija povzročila nastanek gladkih sten kanalov.

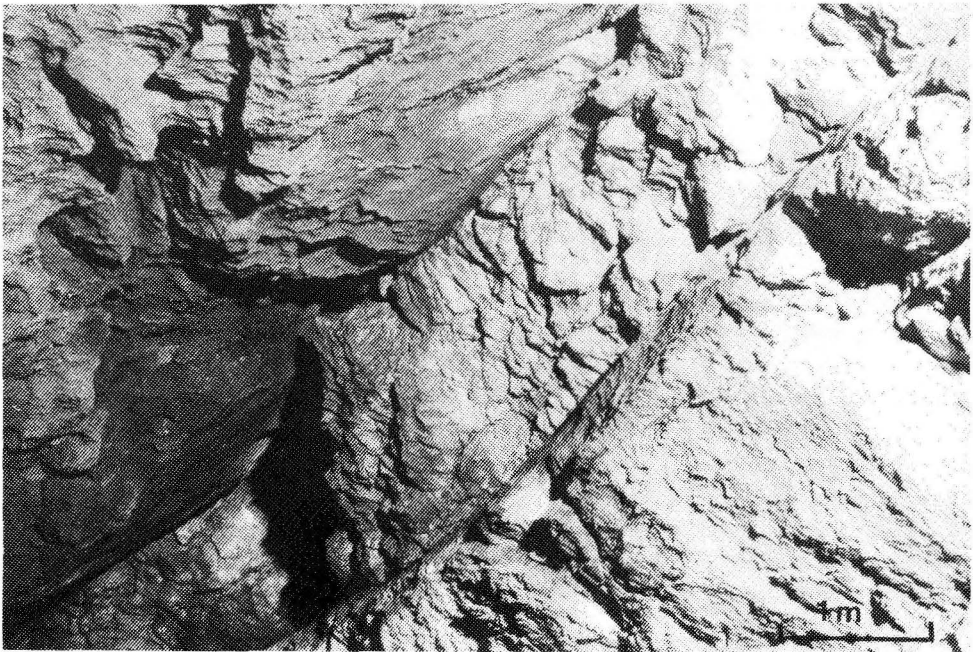
Sediment je bil nato izpran iz jame in ker ta del jame ni bil kasneje preoblikovan s podori ali s korozijsko agresivno penikajočo vodo, so se podsedimentne oblike ohranile kot najstarejša sled jamskega razvoja. Na skalnem obodu pa je ostalo tudi nekaj stare sige iz obdobja, ko je bil sediment že odnesen iz jame.



## RAZPADANJE IN PODIRANJE SKALNEGA OBODA

Na skalnem obodu lahko po vsej jami sledimo pokončnim prelomom in razpokam. Močna pretrost, prenikanje korozijsko agresivne vode in pogosto zmrzovanje vlage povzročajo razpadanje kamnine in ob razpokah in prelomih je skalni obod zato oblikovan z odlomi.

Tudi na dnu jame, pod visokimi kamini, so na stenah jasno razvidni očrti prelomov. Med razpotegnjeno valovitimi prelomnimi ploskvami, ki so razmaknjene meter pa tudi več, je drobno zdrobljena kamnina (sl.14). Kjer je kamnina odstranjena, so na stenah razgaljena prelomna zrcala. Ob prelomih so se skladi premaknili tudi več metrov. Kjer so valovite prelomne ploskve širše razmaknjene, so rovi razširjeni, saj kamnina hitreje razpada. Smeri premaknitev ob prelomih moremo razbrati iz tektonskih drs, ki so dobro ohranjene na nekaterih prelomnih zrcalih.



Sl. 14 Pretрта kamnina ob prelomu

Fig.14 Crushed rock along the fault

Stene kamina v spodnjem delu jame ponekod prekriva breča. Verjetno je to sprijet ostanek ob prelomu pretрте kamnine. Večje in manjše kose kamnine danes izpira po stenah polzeča voda. Nastanek večjih kaminov je povezan predvsem z odstranjevanjem ob prelomih pretre kamnine.

### **SLEDI POLZENJA KOROZIJSKO AGRESIVNE VODE PO STENAH KAMINA**

Na sredini jame se proti jugovzhodu odpira ozek prehod v rov, ki se končuje s kaminom. Spodnji del kamina se meandrasto, poprečno meter široko zajeda 5 m globoko v steno rova in seka sklade kamnine. Visok je 20 m, na vrhu pa zaprt z zagozdenim podornim skalovjem. Kamin je del jamskega sistema, ki je nastal z navpičnim prenikanjem korozijsko agresivne vode. Voda je naletela na neprepustno podlago v izklinjeni razpoki in si nato z meandrom utrla nadaljnjo pot. S postopnim zajedanjem v kamnino se



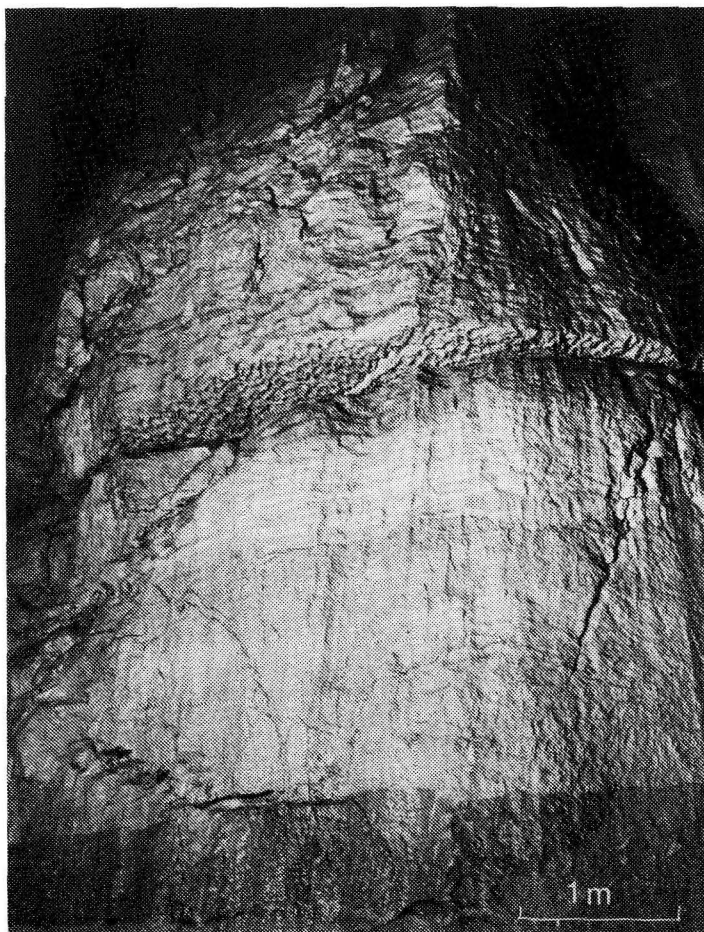
Sl. 15 Vdolbinice v previsni steni

Fig.15 Notches in overhung wall



kamin širi in pogloblja, danes zlasti v notranjem delu. Velik del kamina je namreč prekrit s sigastim oprhom. Vendar je pod tankim oprhom moč zaznati oblikovanost skalnega površja. Curek vode se torej prestavlja v notranjost ali pa se je potem, ko je bil ves kamin prevlečen z oprhom, obnovil le curek vode v notranjosti in na začetku kamina. V hladni polovici leta stene kamina prekrije led, ki se poleti topi, na dnu pa se zadrži do zgodnje jeseni. Gole stene nam takrat odkrijejo značilne oblike, ki nastanejo zaradi polzenja korozijsko agresivne vode.

Pri podrobnejšem opazovanju sem ugotovil zvezo med sestavo, skladovitostjo in razpokanostjo kamnine, nagibom stene ter oblikami v steni. Zato sem skartiral spodnji trimetrski pas stene kamina (sl.18, 19, 20), kjer je že večina značilnih oblik.



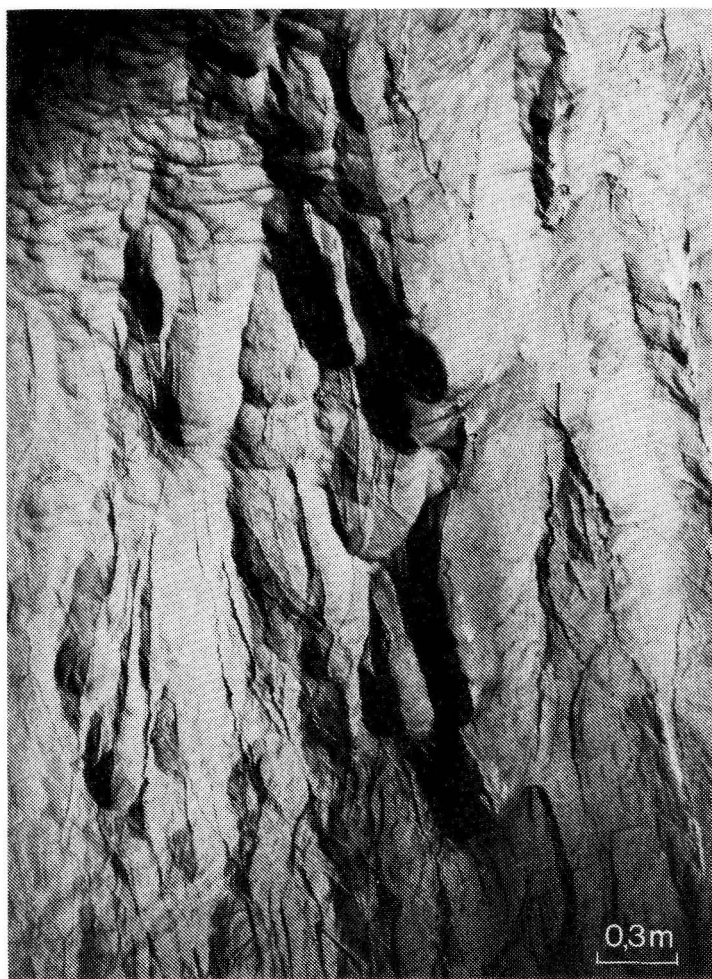
Sl. 16 Stropne konice

Fig.16 Roof points

a.) V navpični steni nastanejo 10-30 mm dolge, 5 mm široke in prav toliko globoke podolgovate vdolbinice. Ker se voda na navpičnih nehomogenih stenah začne združevati v tokove, so vdolbinice razporejene v navpične vrste (sl.18, 19, 20). Vdolbinice torej oblikuje polzenje vode, ki polzi preko nehomogene kamnine z manj topnimi delci fosilov, ki so se ohranili kot robovi. Na podobnost oblik pa vpliva tudi hitrost in količina vode.

Na severni navpični steni, kjer je kamnina bolj homogena, je skalno površje skorajda enakomerno navpično in gladko.

b.) V previsni steni, z naklonom od 90 do - 30°, so plitke vdolbinice nepravilnih oblik (sl.15, 18, 19, 20). Premer največjih je do 30 mm, globoke pa so 10 mm. Povezane



Sl. 17 Vdolbinice v razpokani steni

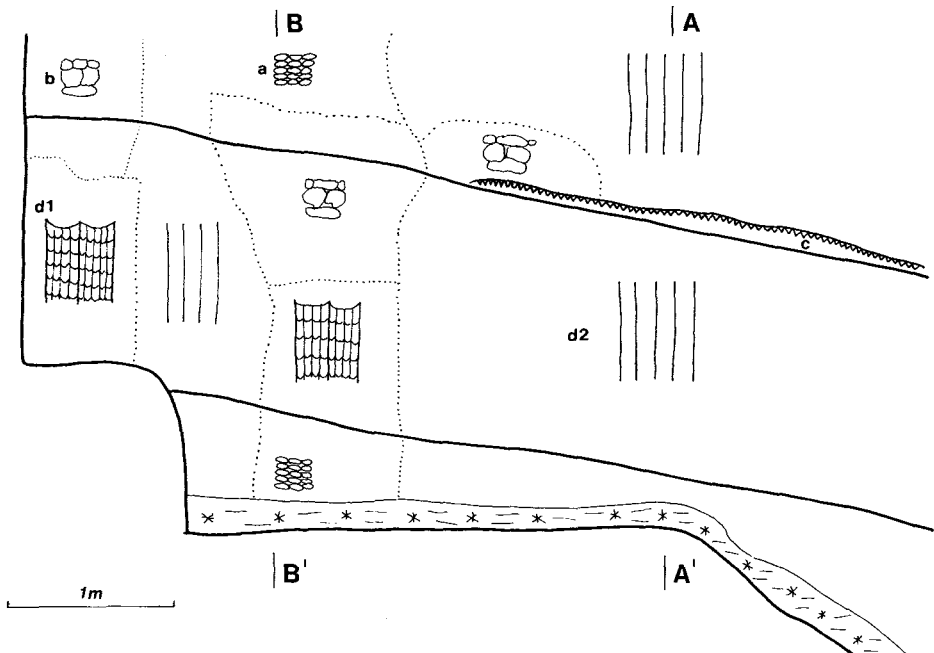
Fig.17 Notches in fissured wall

so v mrežo. V delih stene z manjšim naklonom so večje vdolbinice, ki se na spodnji strani izklinjajo s položnejšim robom, v steni z večjim naklonom pa so vdolbinice manjše, robovi so zlasti na križišču treh bolj poudarjeni.

Njih nastanek je posledica načina oblivanja prvisne nehomogene kamnine. Voda se po previsni površini preliva zaradi privlačnosti s steno in zato polzi dokaj enakomerno po vsej površini. Ovire predstavljajo štrleči deli, iz katerih voda tudi kaplja s stene. Majhne vdolbinice z izrazitejšimi robovi so že prehodna oblika k stropnim konicam.

c.) Na stropu, v tem primeru v zgornjem skladu zajede ob leziki, so nastale stropne konice (sl.16, 18, 20). Povsem so podobne tistim, ki sem jih podrobneje predstavil pri opisu oblik v Volčji jami.

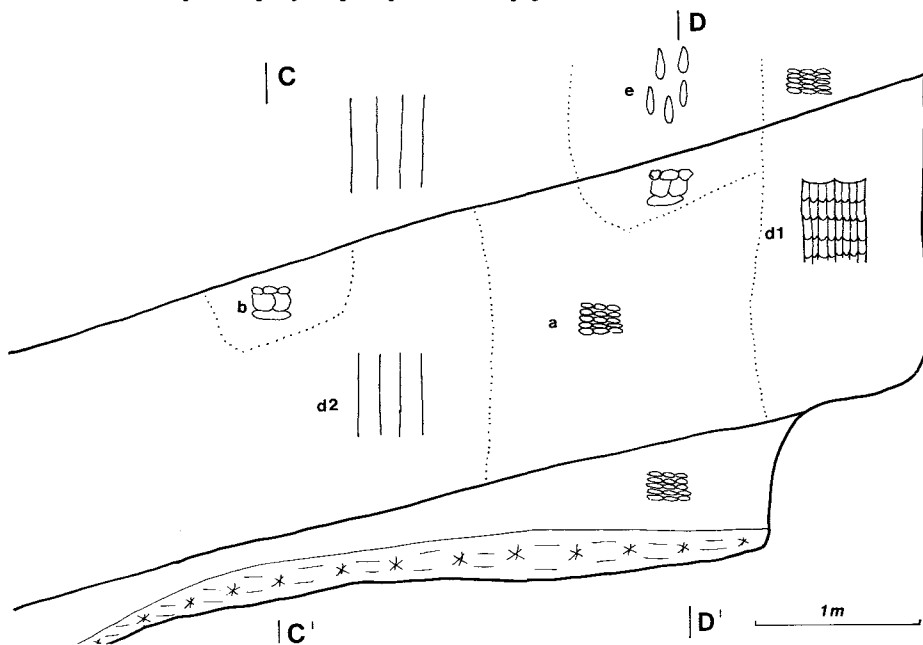
d.) V nagnjeni steni so nastali žlebiči. V malo nagnjeni pokončni steni so žlebiči široki do 10 mm in globoki 10 mm (sl.18, 19, 20, d<sub>1</sub>). Prečni prerezi žlebičev so polkrožni, kar je posledica turbulentnega polzenja zaradi hrapavosti in nagiba kamnine, podolžni prerezi pa so zaradi vmesnih, manj topnih delov kamnine valoviti. Oblika je torej podobna vdolbinicam v navpični steni, le da tokrat prevladuje zaradi nagiba stene gravitacijsko vrezovanje v žlebiče. Voda se torej na položni nehomogeni kamnini združuje v tokove. Več žlebičev je združenih v žleb, širok do 5 cm, ločen od drugih z izrazitejšima robovoma. Začetki žlebov so polkrožno lijakasti.



Sl. 18 Jugovzhodna stena kamina (označbe so poglavja v besedilu)

Fig.18 Southeastern wall of the chimney (the marks present the chapters in text)

V steni z večjim naklonom pa so vrezani globlji žlebiči (sl.18, 19, 20, d<sub>2</sub>). Bolj je stena položna, globlji so v prečnem prerezu. Tako največji žlebiči dosežejo globino 10 cm in širino 7 cm na vrhu odprtine. Tudi dno večjih žlebičev je polkrožno, kar je posledica turboletnega polzenja po nehomogeni kamnini. Razporeditev žlebičev je ponekod vezana tudi na drobne razpoke, ki prepredajo steno in ki tudi povzročajo nastanek ožjih in globljih žlebičev V prečnega prereza. Hkrati pa je hitrejšo vrezovanje posledica večje količine zbrane vode, ki je bila prej razporejena na večji površini.



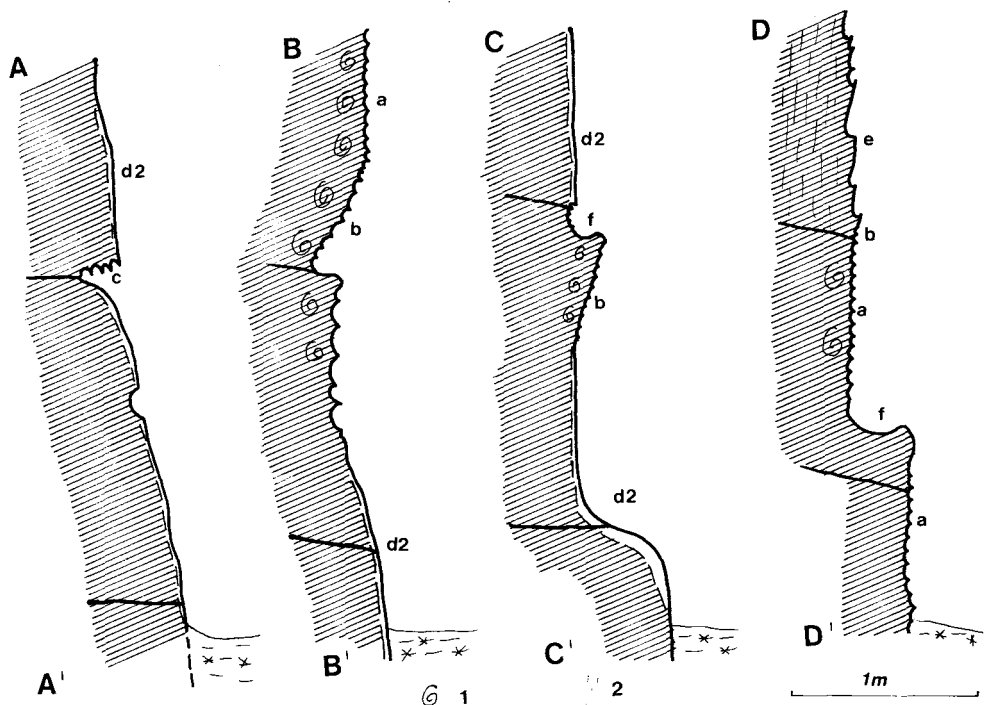
Sl. 19 Severozahodna stena kamina (označbe so poglavja v besedilu)

Fig.19 Northwestern wall of the chimney (the marks present the chapters in text)

Žlebiči, ki so v spodnjih položnih odsekih stene, so globlji in širši, saj so del leta prekriti tudi z ledom in ko se ta topi, se celotna površina napaja z vodo. S točkovnim dotokom vode v žlebič določene širine, bi se ta glede na količino vode in strukturo kamnine, le še poglobljajal.

e. V nagnjeni steni z naklonom okoli 80°, ki je gosto prepredena z drobnimi pokončnimi razpokami, so vdolbinice polkotličastih oblik (sl.17, 19, 20). Premer okroglih prečnih prerezov meri od 10 - 30 mm. Voda, ki se steka proti vdolbinicam, se ob rapokah hitreje zajeda. Na površini, na kateri bi pričakovali žlebiče, se zaradi značilne razpokanosti voda ponekod hitreje točkovno vrezuje v steno.

V skorajda vodoravnih ali le malo nagnjenih odsekih spodnjega sklada kamnine, ki je nekoliko pomaknjen iz stene navzven, so nastale večje in plitke kotlice (sl.20). Njih premer meri do 10 cm in so do 20 mm globoke. Na odtočni strani so široko odprte.



Sl. 20 Prerezi sten kamina: 1. drobno razpokana kamnina, 2. fosili v kamnini  
 Fig.20 Cross section of chimney's wall: 1. thin fissured rock, 2. fossils in rock

V prelomnih, ponavadi pokončnih conah, kjer je kamnina najbolj drobno pretrta s pokončnimi razpokami in se zato tudi kruši, so zaradi polzeče vode nastali na navpični in previsni steni ozki drobno nazobčani roglji, štrleči iz sten.

Različni nakloni odsekov sten kamina in oblikovanost njih površja so posledica polzenja majhnih količin korozivno agresivne vode po skladoviti in ponekod drobno razpokani kamnini različne sestave ter tako tudi različne topljivosti.

Polzenje po malo nagnjenem stropu je mogoče le do določene razdalje od točke dotoka, nato pa voda kaplja s stropnih konic. Oblivanje previsne stene manjšega naklona je vse do navpične površine dokaj enakomerno. Na nagnjenih odsekih se voda združuje v tokove. Nastajajo žlebiči, ki so na površinah z manjšim naklonom redkejši in globlji. Na vodoravni ali le malo nagnjeni površini se voda zbira in preliva skozi plitke kotlice.

Na odseku dokaj homogene kamnine pa je površina skorajda navpična in gladka. Torej je za oblikovanje površja sten, poleg načina dotoka vode, ki je lahko enakomeren po vsej površini ali pa zbran v tok, odločilna predvsem nehomogenost in razpokanost kamnine. Po stenah brezen se tanka plast vode pretaka v superkritičnem laminarnem

režimu s hitrostjo 0,3 - 2 m na sekundo, kar povzroči nastanek navpičnih sten. Če pa vodna količina naraste, se delci odlepijo od sten v majhne slapove, kar še poveča hitrost vode, ki doseže superkritični turbulentni režim. Tako se še hitreje oblikujejo navpične stene, saj ob ovirah nastajajo hidravlični skoki, ki povzročijo erozijo (W.B. White, 1988, 168, 297). Potrebno bi bilo določiti tudi korozijsko moč vode po različnih delih stene. Tudi zaradi tega, ker je kamin spodaj ožji, domnevam, da korozijska moč vode navzdol pojema. Lahko pa je oblika le posledica izpiranja kamnine ob lečasto porušeni coni.

Stene kamina prek polovice leta obdaja ledena skorja. Mislim pa, da na samo oblikovanje skalnega površja led ne vpliva veliko, namreč, površje bi naj bilo pod ledom gladko, kot je to primer pri subkutani koroziji. Zmrzovanje vode povzroča vdori mrzlega zraka s površja v jamo, ki ohladijo tudi površinsko plast stene. Ledena obloga se najprej stopi na stiku s steno in tako le kratek čas napaja polzečo vodo.

Na dnu kamina je v spodnjem delu jame nastala erozijska kotlica. Dolga je 0,35 m in široka 0,25 m, na najglobljem delu pa doseže 0,2 m. Oblika nas navaja k sklepu, da je kotlica sestavljena pravzaprav iz dveh manjših. V najglobljem delu kotlice je prod. Večji prodniki, ki imajo 50 mm premera, prekrivajo manjše prodnike in pesek. V robnem, najožjem delu kamina nastane ob steni v času topljenja snega in ob izdatnejšem deževju vodni slap s pretokom okoli 30 litrov na sekundo, v sušnem obdobju pa po stenah polzi le malo vode. Kotlica je večja na strani, ki je odmaknjena od stene, to je tam, kjer pada največja količina vode, in manjša, kjer jo dosežejo manjše količine vode.

Za nastanek in oblikovanje kotlice je poleg povečane korozijske moči vode zaradi vrtinčenja in s tem sproščanja  $\text{CO}_2$ , pomembna tudi moč dolbljenja s prodniki, ki nastanejo iz podorne kamnine, ki jo prinese voda.

#### **Trdota vode in njena korozijska aktivnost v vzorcih polzeče vode in ledu**

Vzorcu polzeče vode, ki sem jo zajel na steni nad erozijsko kotlico v spodnjem delu jame, smo v laboratoriju določili količino karbonatov in korozijsko sposobnost. Vodo sem zajel na sredini stene, kjer je polzela po korozijskih vdolbinicah in sicer v času, ko je bila količina vode majhna (oktober). Vsebovala je 95 mg  $\text{CaCO}_3$  na liter. Skoraj enako količino 96 mg  $\text{CaCO}_3$  na liter pa je vsebovala voda tudi potem, ko smo v njej raztapljali dodatni kalcijev karbonat (pro analysi). Voda ima torej nizko karbonatno trdoto, čeprav je skorajda nasičena ali pa je še ravno na meji korozijske aktivnosti. Domnevam, da so za oblikovanje sten pomembnejše večje količine polzeče vode, ki hitreje priteče s površja in voda, ki se izceja iz ledu, ko se topi.

Enako smo določili karbonatno trdoto v ledu, ki je prekrival tla spodnjega dela jame. Voda iz ledu ima še precej nižjo karbonatno trdoto. V vzorcu sem določil 18 mg  $\text{CaCO}_3$  na liter, ko pa se je v vodi raztapljal še dodaten kalcijev karbonat se je trdota povečala na 22 mg  $\text{CaCO}_3$  na liter, kar je lahko posledica sprejemanja  $\text{CO}_2$  pri zmrzovanju. Led pa ni bil povsem čist, saj se pri počasnem zmrzovanju v njem nakopiči tudi

stenski odkruški. Kaže, da trditev, da se pri zmrzovanju iz vode izločajo karbonati, drži in da pri topljenju korozijsko aktivnost poveča tudi CO<sub>2</sub>, ki ga led prejme iz zraka.

Tabela 2: Skalne oblike v Ledenici na Dolu

		VADOZNA CONA
K O R O Z I J A	podsedimentna	kanali
	polzeče vode	vdolbinice, stropne konice, žlebiči, kotlice
KOROZIJA IN EROZIJA		erozijska kotlica
RAZPADANJE IN PODIRANJE		odkruški, odlomi, podori

### SKLEP

Po skalnih oblikah v Volčji jami lahko sklepamo, da je jama nastala v zaliti coni, nato pa je bila zapolnjena z drobnozrnato naplavino. Sledi prvotnega oblikovanja Ledenice na Dolu ni več. Ohranjeni pa so znaki obdobja, ko je bila jama preoblikovana s korozijo ob stiku z drobnozrnato zapolnitvijo.

Tako zalita cona kot poplavne zapolnitve jam so značilnosti oblikovanja nižinskega kraškega območja. Medtem ko so sledi poplavnih zapolnitev jam v nižjih pretočnih kraških predelih mlajšega porekla, predpostavljamo, da iz konca würma in začetka holocena, pa sta bili proučevani jami prav gotovo zapolnjeni že prej, verjetno v začetku kvartarja. Sediment, katerega ostanke najdemo v Volčji jami, je kot kaže, nastal zaradi preperevanja površja v enem izmed klimatsko toplih obdobj, verjetno v starejšem pleistocenskem interglacialu. V humidnem obdobju pa je voda z njim zapolnila jamo. R. Gospodarič (1985, 27) ugotavlja, da je bil drobnozrnata naplavina nanescena v jame ponavadi v humidni hladni klimi.

Tektonsko dvigovanje ozemlja in nižanje obrobni dolin pa je nato omogočilo globinsko zakrasevanje. Naplavina je bila zato odnesena iz jame predvsem zaradi počasnega izpiranja s prenikajočo vodo, ki je še danes eden najpomembnejših procesov oblikovanja višje ležečih jam. Kjer v Ledenico na Dolu prenika večja količina korozijsko agresivne vode s površja, so nastali kamini ali pa je odlomna površina značilno preoblikovana s

sledmi prenikanja, polzenja in kapljanja vode. V Volčji jami je količina prenikajoče vode majhna in voda razpršeno penika skozi plitki pokrov nad jamo, zato so njeni učinki na oblikovanost skalnega oboda razmeroma majhni. Stenski žlebiči, ki so nastali na položni ploskvi sklada kamnine in iz katerih štrli manj topna sedimentna lutka, kažejo, da je polzeča voda znižala površje za okoli 30 mm. Največji kanali, ki so nastali zaradi prenikanja vode, imajo premere do 150 mm. Tudi kotlice, nastale zaradi prenikanja vode, so večinoma do 150 mm široke. Že v času pretakanja vode po rovih se je skalni obod Volčje jame podiral, najbolj jasni pa so odlomi, ki so nastali po izpraznitvi sedimenta iz jame. S podiranjem skladov stropa sta se jami približali znižanemu površju, in drugotna vhoda sta ju klimatsko povezala z zunanostjo, kar je še pospešilo razpadanje in podiranje pretrtega skalnega oboda. Voda v jami zaradi vdorov mrzlega zraka zmrzuje. Ko se ledena obloga, ki obdaja kamnino, topi, omogoči enakomerno raztapljanje in tako glajenje vodoravnih ali le malo nagnjenih površin. Na pokončnih površinah, kjer se na stiku s steno najprej stopi led, že prevladujejo sledi polzenja vode.

Šibka kondenzna korozija je površino skalnega oboda drobno razjedla. Nekoliko izrazitejše je biogeno razjedanje sten v vhodnih delih Volčje jame.

Tektonika in nižanje obrobni dolin sta torej spremenila kot vse kaže sprva nižinski jami v gorski.

## LITERATURA

- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja, *Acta carsologica* 10/4, 1981, 78-105, Ljubljana.
- Gams, I., 1971: *Podtalne kraške oblike*, *Geografski vestnik* 43, 27-45, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce, *Acta carsologica* 13, 1984, 5-34, Ljubljana.
- Habič, P., 1964: O podzemeljskih ledenikih na Nanosu, *Naše jame* 5/1963, 19-29, Ljubljana.
- Habič, P., 1975: Razlike med alpskim in dinarskim krasom, *Naše jame* 17, 77-84, Ljubljana.
- Habič, P., 1982: Pregledna speleološka karta Slovenije, *Acta carsologica*, 5-22, Ljubljana.
- Jeannel, R. et E.G. Racovitza, 1918: Énumération des grottes visitées 1913-1917, *Archives de zoologie experimental et general*, T.57 F3, 203-470, Paris.
- Lange, A., 1959: Introductory notes on the changing geometry of caves structures, *Cave studies* 1-11, 69-90, San Francisco.
- Slabe, T., 1988: Kondenzna korozija na skalnem obodu Komarjevega rova v Dimnicah, *Acta carsologica* 17, 79-92, Ljubljana.
- White, W.B., 1988: *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, New York Oxford.
- Zupan, N., 1990: Izvor in mineralna sestava jamskih peskov in ilovic, Magistrska naloga, FNT, *Geologija* Ljubljana.



## ROCKY FEATURES IN TWO POLYGENETIC CAVES OF HIGH KARST

### Summary

Volčja jama (1055 m a.s.l.) and Ledenica na Dolu (955 m a.s.l.) are characteristic polygenetic caves in High Dinaric karst, which is otherwise simple outflow karst area. The potholes, bigger systems of deep potholes with springs, which are siphon-like are characteristic for the area. The ice-caves present a special microclimatical type.

From rocky features in Volčja jama we can deduce that the cave developed in flood zone and was later filled up by fine-grained sediments. There are no traces of original transformation in Ledenica na Dolu left. But there are preserved the signs of period when the cave was transformed by corrosion on the contact with fine-grained sediments.

The flood zone and the flood sediments in the cave present the properties of development in the low karst areas. While the traces of flood sediments in the caves of lower throughflow karst areas are of younger origin, end of Würm, beginning of Holocene supposingly, the studied caves were without doubt filled up earlier, at the beginning of Quaternary probably. The remains of sediment found in Volčja jama evidence the origin because of surface weathering in one of climatically warmer periods, in older Pleistocene Interglacial probably. In humid period the water filled the cave by it. R. Gospodarič (1985, 27) infers that the fine-grained sediments were deposited in the caves during the humid cold climates mostly.

Tectonical uplift of the area and lowering of border valleys later rendered possible the deep karstification. The sediment was washed off the cave by slow washing of percolating water, which is still today one of the most important processes forming higher lying caves. By collapse of hanging-wall the caves approached the lowered surface and secondary entrances climatically connected them to the exterior, accelerating the weathering and collapse of crushed rocky rim. The water in the cave freezes because of cold air irruptions.

As it seems tectonics and lowering of border valleys changed at first low lying caves into mountainous ones.

DISCOVERY OF QUARTZ  
PEBBLES ON SUMMIT SURFACES IN  
THE ALTIPIANI AMPEZZANI  
(DOLOMITES, NE ITALY)

ODKRITJE KREMENOVIH PRODNIKOV NA OVRŠJU  
VISOKIH AMPEZZANSKIH PLANOT  
(DOLOMITI, SV ITALIJA)

Alfredo BINI,\* Mirco MENEGHEL,\*\* Yves QUINIF,\*\*\*  
Ugo SAURO\*\* & Chiara SIORPAES\*\*\*\*

**Abstract**

UDC 551.44(234.323.33)

**Alfredo Bini, Mirco Meneghel, Yves Quinif, Ugo Sauro & Chiara Siorpaes: Discovery of quartz pebbles on summit surfaces in the Altipiani Ampezzani (Dolomites, NE Italy)**

During geomorphological field work on high altitude karst in the Dolomites near Cortina d'Ampezzo (Alpe di Fanes, Sennes e Fosses) quartz pebbles were found in many places, originating from formations now largely eroded from the tops of Dolomites or from karstic deposits. The occurrence of these pebbles is significant for the reconstruction of the evolutionary history of Dolomites.

**Izvleček**

UDK 551.44(234.323.33)

**Bini, Alfredo, Mirco Meneghel, Yves Quinif, Ugo Sauro & Chiara Siorpaes: Odkritje kremenovih prodnikov na ovršju Ampezzanskih visokih planot (Dolomiti, NE Italija)**

Po 1984 letu so bili med geomorfološkim terenskim delom na visokih kraških planotah v Dolomitih blizu Cortine d'Ampezzo (Alpe Fanes, Sennes in Fosses) na več mestih najdeni kremenovi prodniki, ki izvirajo iz danes močno erodiranega materiala z vrhov Dolomitov ali iz kraških sedimentov. Pojav teh prodnikov je pomemben za rekonstrukcijo morfogenetskega razvoja Dolomitov.

---

\* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano

\*\* Dipartimento di Geografia, Università di Padova

\*\*\*CERAK, Faculté Polytechnique de Mons

\*\*\*\*Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova

The cost of this research has been provided by the Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica.

During geomorphological field work on high altitude karst forms in the Dolomites near Cortina d'Ampezzo (Alpe di Fanes, Sennes e Fosses) in the period since 1984, quartz pebbles were found in many places, originating from formations now largely eroded from the tops of Dolomites or from karstic deposits (fig. 1). The occurrence of these pebbles is significant for the reconstruction of the evolutionary history of Dolomites.

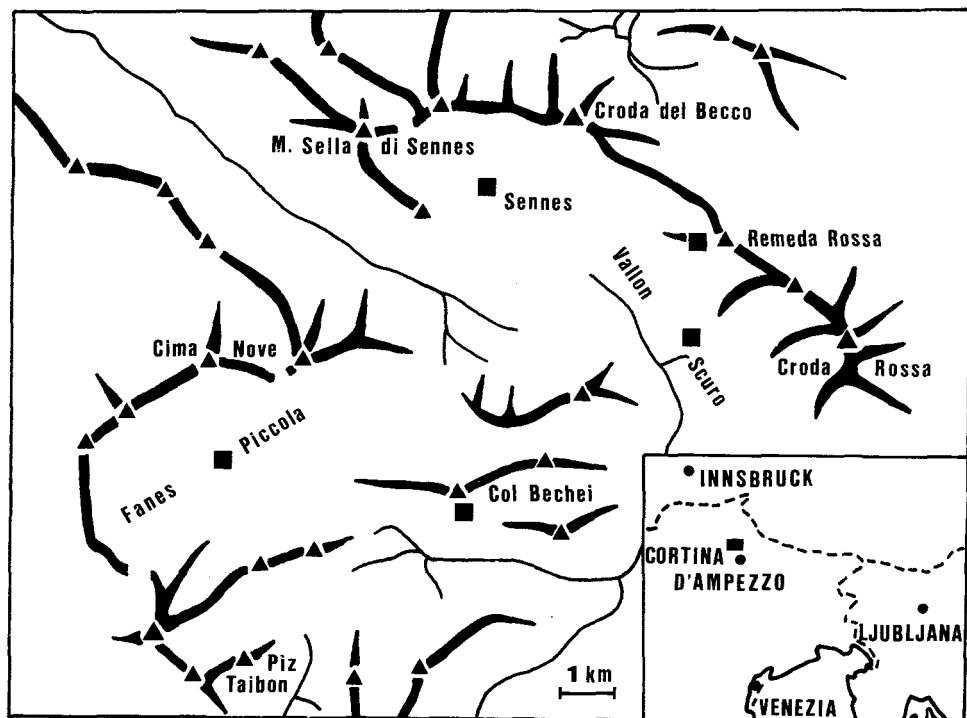


Fig. 1 Sketch map of the Altipiani Ampezzani. Black squares show the locations where the quartz pebbles were found.

Sl. 1 Skica Ampezzanske visoke planote. Črni kvadrati kažejo nahajališče kremenenovih prodnikov

## GEOLOGICAL AND TECTONIC SETTING

The Altipiani Ampezzani area is located in the northeastern part of the Dolomites (eastern Southern Alps, northern Italy). This region is bounded by the Neogene Periadriatic Lineament to the North and by the Valsugana - Pieve di Cadore Thrust to the South. The stratigraphic sequence consists of a Permo-Mesozoic sedimentary cover unconfor-

mably overlying the Hercinian metamorphic basement.

During the Tertiary two compressional tectonic phases deformed the Dolomites: the W-WSW trending Dinaric phase (pre-Upper Oligocene) and the Neogene S-ESE trending Valsugana phase (Doglioni, 1987; Doglioni & Siorpaes, in press). The two different tectonic phases can be distinguished from their structural position and the age of the M. Parei Conglomerate (Upper Oligocene - Lower Miocene). In fact the M. Parei Conglomerate lies with an angular unconformity (from 10° to 90°) on the Jurassic limestones deformed by the W-WSW trending Dinaric phase while, during the S-ESE trending Valsugana phase, tectonic sheets of Mesozoic rocks were thrust over this formation.

## QUARTZ PEBBLE LOCATIONS

Pebbles were first discovered on the Remeda Rossa ridge, at an altitude of some 2450 m. Here the pebbles are scattered on the ground over a small area. The quartz pebbles, a few centimetres in diameter, occur in association with many small clasts of limonite. No deposit or formation from which the pebbles could have come was located.

Allochthonous deposits were also found on the left slope of the Vallon Scuro (a trunk of the valley of Boite Torrent), just south of point 2163 m. Here red sandstones rich in micas and with small pebbles of quartz fill a karstic pit, now dissected by slope erosion.

A few other quartz pebbles were found here and there scattered on the plateau of the Alpe di Sennes, between Sennes Lake, the Col delle Fezeres and the Mount Sella di Sennes. In the Alpe di Fanes Piccola, at an altitude of about 2325 m, only one other pebble has been found.

Quartz pebbles are present in the M. Parei Conglomerate, at an altitude of about 2570 m. This unit consists of mono- and polygenic conglomerates and greywackes outcropping on a morphostructural surface trending E-W, under the very top of Col Bechei. There is another outcrop at 2377 m a.s.l. between Col Bechei di Sotto and Croda d'Antrulles.

For a long time the M. Parei Conglomerate was considered Upper Cretaceous in age and was compared with the Gosau Formation of the Northern Calcareous Alps. M. B. Cita & G. Pasquarè (1959) ascribed this formation to Eocene and later P. Cros (1966, 1978) dated it to Upper Oligocene - Lower Miocene.

The conglomerate and the greywackes are arranged in fining-upward sequences and consist of well rounded pebbles of different lithology; in the carbonate matrix marine facies fossils, like *Balanus* sp., red algae, foraminifera (lepidocyclina and amphystegina) are also present. The unit was probably sedimented on a shore or in a shallow water sea and the clasts were deposited by different rivers (P. Cros, 1966, 1978).

The quartz pebbles are not the dominant pebble lithology in the conglomerate, but just at the foot of the slope made by the outcrop, were loose clasts collect, quartz pebbles are more abundant (M. Panizza & D. Dibona, 1990) and limonite clasts also occur.

In an attempt to correlate the pebbles on the basis of their physical characteristics, pebble morphometry was used to compare the Remeda Rossa and Col Bechei samples, where there were sufficient clasts for the analysis to be statistically significant. Artificial thermoluminescence was used in the analysis of samples from Remeda Rossa, Vallon Scuro and Col Bechei.

## PEBBLE MORPHOMETRY

The samples consisted of 68 pebbles from Col Bechei and 101 pebbles from Remeda Rossa. On each clast the three principal axes were measured to determine form, sphericity and flatness (E.D. Sneed & R.L. Folk, 1958), and the radius of curvature of the sharpest corner was used to calculate the index of roundness (A. Cailleux & J. Tricart, 1963). The mean form of both samples is spherical-lamellar, with the Remeda Rossa sample being slightly more lamellar.

The form indices and the other mean values calculated are listed in Tab. 1

Tab. 1

	Col Bechei	Remeda Rossa
Form index $(a-b)/(a-c)$	498	531
c/a	594	526
Sphericity	763	719
Flatness index	155	171
Roundness index	454	442

As one can see the values are quite similar and since there is no significant difference between the two groups of pebbles, it is possible to consider a common origin for the two deposits. If we take into account both flatness and roundness indices and compare them with the large range of values given by A. Cailleux & J. Tricart (1965) for quartz pebbles collected in various environments, it can be seen that the roundness index is higher for these samples than those for other environments though the values appear to fit more with samples of fluvial origin than with marine beach samples.

## ARTIFICIAL THERMOLUMINESCENCE

Thermoluminescence (TL) is the property of some non conductor crystals (e. g. quartz) to emit light when warmed. This fact is due to the presence in the crystal reticule of physical and chemical defects which act as traps for electrons at an energy level higher than the usual band hosting electrons. Energy to carry electrons into the traps is given usually by natural radioactivity. Electrons can return to their band only by the supply of more energy, for instance given as heat. Falling again to their band, electrons emit pho-

tons producing visible light when the crystal is warmed. This is the Natural Thermoluminescence (NTL). Because the TL is due to the reticular defects of crystals, quartz crystallized in the same time and conditions have the same TL properties, while crystals formed in different conditions have a different TL behaviour.

The amount of light emitted by a crystal which is warmed produces a glow curve with a certain number of peaks at temperature values typical for every mineral. In natural quartzes low temperature peaks are always absent because relative traps are easily emptied by a very low amount of energy. Moreover ultraviolet light from the sun can empty all the traps, annulling the TL.

To obtain a glow curve with all the peaks and without any interference it is necessary to measure the Artificial Thermoluminescence (ATL) of the quartz. To obtain it, the quartz crystals are exposed for a long time to ultraviolet light, then they receive sufficient energy by gamma or X rays so that all the available traps are filled. Afterward the quartz crystals are warmed giving a glow curve typical of the mineral and independent from the conditions met by the quartz crystals after their formation.

So if two samples of quartz sediment coming from different places have the same shape of ATL glow curves (also with little difference in the intensity of the peaks), they probably originate from the same geologic formation. In such a way it is possible to use the ATL as a sedimentological tracer, for instance to identify the different sources of sediments in a basin.

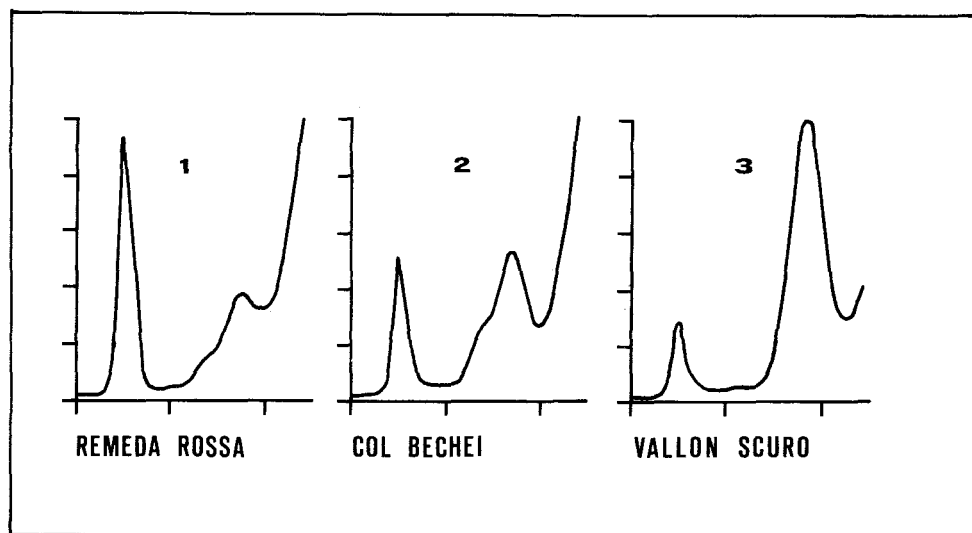


Fig. 2 Thermoluminescence glow curves (intensity of light against temperature) of the three samples.

Sl. 2 Termoluminiscenca žarilne krivulje (intenzivnost svetlobe glede na temperaturo) v treh vzorcih.

For our purposes we analysed quartz pebbles from Remeda Rossa (size 1 - 3 cm, sample 1), from Col Bechei (size 2 - 4 cm, sample 2), and from the sandstone of Vallon Scuro (size about 0.5 cm, sample 3). The portion larger than 200 micron was separated with a heavy liquid (bromoform with density 2.62) and treated for one hour in hydrofluoric acid at 50% to eliminate the surficial layer of the grains. The TL had been cancelled by exposure to an ultraviolet lamp for 24 hours. After that the quartz received radiation from a gamma beam source for one hour. the ATL was then measured while a plate warmed the sample at a rate of 2°C/sec. Several pebbles were analysed from each sample location.

The glow curves typical of the three samples are shown in Fig. 2, while temperature and intensity values of the peaks are listed in Tab. 2.

Tab. 2: Temperature and intensity of the peaks of quartz samples.

	1		2		3	
	Remeda Rossa		Col Bechei		Vallon Scuro	
	t °C	I	t °C	I	t °C	I
1st peak	96,2	5507	96,2	4397	96,2	4873
2nd peak	290,5	1039	274,7	2324	227,1	936
3rd peak	346,1	2197	334,2	4611	361,9	17489

The shape of the curves and temperature and intensity values show that the quartz of the Remeda Rossa and Col Bechei samples is identical, while the Vallon Scuro quartz is different. The curves of samples 1 and 2 show a first high peak, with a smaller second peak at higher temperature; on the contrary the first peak of the sample 3 is simple and has low intensity. The second peak is well developed in the curves of sample 1 and 2, while it is very low and at lower temperature in the sample 3 curve. The third peak has low intensity and partially overlaps the second peak in the 1st and 2nd samples, whilst it is high and well separated from the second peak in the 3rd sample.

Therefore the quartz pebbles of the Remeda Rossa and Col Bechei come from the same formation, while the quartz pebbles sampled from the karstified pit of Vallon Scuro have a different origin.

## CONCLUSIONS

The problems of the geomorphologic history of Dolomites has interested researchers for a long time. One of the main questions is the meaning and the correlations between old surface remnants. Such problems are discussed in the works of A. Sestini (1955) and D. Rossi (1957) for the whole Dolomites and of L. Kober (1908), G. Merla (1931), C. Mutschlerchner (1937), E. Bevilacqua (1953), and P. Cros (1978) for that part considered in this paper.



One of the problems is the relation between the remnants of an old erosional surface present here and there at the top of some mountains and a more widespread surface situated some hundred metres below. For the area discussed in this paper the first surface is clearly visible at the tops of Sasso delle Nove, M. Sella di Sennes, Croda del Becco, Remeda Rossa and Piccola Croda Rossa. This surface could be related to *Gipfelflur* of the German authors and is generally considered of Miocenic age. The quartz pebbles found on the surface of the Remeda Rossa and the limonite clasts found here and on the Croda del Becco could be similar to the deposits of the *Augensteinlandschaft* (or *Rax-landschaft*) of the Northern Limestone Alps, probably also of early Miocene age (J.Fink, 1975).

The second surface, in this area is that of Fanes Piccola, Sennes and Fosses; it is widespread and has a rather large variation in altitude, but it is about 300 - 400 metres below the top surface. A question arises as to whether the two surfaces represent two different levels of erosion (and so the last surface could be of Pliocene age, A. Sestini, 1955) or a originally undulating surface afterwards also displaced tectonically.

If we consider the terrace of Col Bechei, where the conglomerate outcrops, as part of the lower surface, since the Remeda Rossa pebbles have the same origin as those in the conglomerate, we can deduce that the two surfaces of the Ampezzo Dolomites have the same origin and age, at least Aquitanian and perhaps Oligocenic. At that time the landscape could have been a limestone hilly plateau bounded by a sea, where rivers deposited materials coming also from metamorphic zones of the Central Alps as suggested by P. Cros (1978).

Of course this reconstruction could be rash, being based on only one reliable observation; the possibility of sedimentation of reworked materials, the different origin of the sandstone of Vallon Scuro and the presence of quartz pebbles at M. Faiburn (probably Piz Taibon) reported by P. Cros (1978), that could have a different origin, may complicate the framework in which we attempt to insert the morphological history of the Ampezzo Dolomites. Nevertheless we think that these observations will be important in disentangling the history.

## REFERENCES

- Bevilacqua, E., 1953: Aspetti morfologici della regione di Fanes. C.N.R., Centro Studi per la Geogr. Fisica, Ricerche sugli aspetti morfologici di territori italiani, 1, Faenza, 71 pp.
- Cailleux, A., J. Tricart, 1963-1965: Initiation à l'étude des sables et des galets. 3 vol, C.D.U., Paris, 369, 194 and 202 pp.
- Cros, P., 1966: Age oligocène supérieur d'un poudingue du Monte Parei dans les Dolomites centrales italiennes. C.R. Géol. France, 7, 250-252.
- Cros, P., 1978: Interpretation des relations entre sédiments continentaux intrakarstiques et molasses littorales, oligo-miocène des Dolomites centrales italiennes. Atti Cong. "Processi paleo-carsici e neocarsici", Napoli, 12 pp.
- Dogliani, C., 1987: Tectonics of the Dolomites (Southern Alps - Northern Italy). J. Struct. Geol., 9, 181-193.

- Doglioni, C., C. Siorpaes, 1990: Polyphase deformation in the Col Bechei area (Dolomites - Northern Italy). In press.
- Fink, J., 1975: Changes of climate and land-forms in the Eastern Alps. An. Acad. Brasil. Ciênc., 47 Supl., 327-336.
- Kober, L., 1908: Dachsteinkalkgebirge zwischen Rienz Gader und Bòita. Mitt. Geol. Ges., 203-244.
- Merla, G., 1931: Osservazioni morfologiche e tettoniche sugli altipiani ampezzani (Fosses - Sennes - Fanes). Atti Soc. Toscana Sc. Nat., Mem., 42, 45 pp.
- Mutschlerchner, C., 1937: Geologie der St. Vigiler Dolomiten. Jhrb. Geol. Bundesanst., 83 (1-2 ), 75 pp.
- Panizza, M., D. Dibona, 1990: Segnalazione di un suolo al Col Bechei (Dolomiti di Fanes) e suo possibile significato neotettonico. Il Quaternario, 3 (1), 31-38.
- Rossi, D., 1957: Gli aspetti morfologici delle cime Dolomitiche. Boll. Soc. Geol. It., 76, 46-66.
- Sestini, A., 1955: Alcuni problemi di morfologia delle Dolomiti. Riv. Geogr. It., 62, 101-112.
- Sneed, E.E., R.L. Folk, 1958: Pebbles in the lower Colorado River, Texas. A study in particle morphogenesis. Journ. Geol., 66, 114-150.

## ODKRITJE KREMENOVIH PRODNIKOV NA OVRŠJU AMPEZZANSKIH VISOKIH PLANOT (DOLOMITI, NE ITALIJA)

### Povzetek

Raziskovalce že dolgo zanimajo vprašanja geomorfološke zgodovina Dolomitov. Eno poglavitnih vprašanj je pomen in razmerje med ostanki starih uravnav. Ta vprašanja obravnavajo dela A.Sestinija (1955) in D.Rossija (1957) za celotne Dolomite in L.Koberja (1908), G.Merla (1931), C.Mutschlerchnerja (1937), E.Bevilacque (1953) in P. Crosa (1978) za področja, ki jih obravnavamo tudi v tem prispevku.

Eden od problemov je razmerje med ostanki stare erozijske uravnave na vrhu nekaterih gora in običajnih ravnoti, ki jih najdemo nekaj sto metrov niže. Na obravnavanem območju, so prve reliefne oblike jasno vidne na vrhu Sasso delle Nove, M.Sella di Sennes, Croda del Becco, Remeda Rossa in Piccola Croda Rossa. Te uravnave lahko pripadajo tipu *Gipfelflur* (nemških avtorjev) in običajno jim pripisujemo miocensko starost. Kremenovi prodniki, ki smo jih našli na ovršju Remede Rosse in limonitni klasti, najdeni tam in na Croda del Becco, bi lahko bili podobni sedimentom *Augensteinlandschaft* (ali *Raxlandschaft*) v Severnih Apneniških Alpah, ki so tam verjetno miocenske starosti (J. Fink, 1975).

Drugi tip uravnav na tem območju so Fanes Piccola, Sennes in Fosses; to je prostrano površje s precejšnjimi višinskimi razlikami, ležeče okrog 300-400 m niže od vrhov. Pojavlja se vprašanje, ali ti dve uravnavi predstavljata dve različni erozijski fazi (tako bi bila lahko zadnja uravnava pliocenske starosti, A.Sestini, 1955), ali izvorno razgibano površje, ki je bilo tektonsko premaknjeno.

Če smatramo teraso Col Bechei, kjer izdanjajo konglomerati, kot del nižjega površja in so prodniki z Remeda Rossa enakega izvora kot konglomerati, lahko sklepamo, da sta ti dve uravnavi na Ampezzanskih Dolomitih istega izvora in starosti, vsaj akvitanjske ali mogoče oligocenske. V tem času bi bila pokrajina apneniška gričevnata planota, omejena z morjem, kjer so reke odlagale tudi material, prihajajoč z metamorfnih področij Centralnih Alp, kot to predpostavlja P. Cros (1978).

Sveda je taka rekonstrukcija groba, ker je osnovana le na enem zanesljivem opazovanju; možnost sedimentacije predelanega materiala, različen izvor peščenjaka iz Vallon Scuro in prisotnost kremenovih prodnikov na M. Faiburn (verjetno Piz Taibon), o katerih poroča P.Cros (1978), ki imajo morda drugačen izvor, lahko zapletejo osnovno tezo, s katero poskušamo razložiti morfološko zgodovino Ampezzanskih Dolomitov. Kljub temu mislimo, da so ta opazovanja pomembna za razvozljavanje njihove zgodovine.

Prevedla Maja Kranjc

---

O kremenovemrodu so razpravljali na italijansko jugoslovanski konferenci o alpskem krasu julija 1989 v Dolomitih. Konference so se udeležili iz Jugoslavije I. Gams, P. Habič, J. Kunaver, A. Mihevc, S. Šebela in N. Zupan. Kremenov prod je ohranjen tudi v Julijskih in Kamniških Alpah ter po Dinarskem krasu.

Urednik

**REFLECTION ABOUT HIGH  
MOUNTAIN KARST ENVIRONMENTS  
AND THEIR  
FRAGILITY IN THE DOLOMITES**

**RAZMIŠLJANJE O VISOKOGORSKEM KRASU  
DOLOMITOV IN NJEGOVI RANLJIVOSTI**

**Mirco MENEGHEL\* & Ugo SAURO\***

**Abstract**

UDC 504.06:551.44(234.323.33)

**Meneghel, Mirco & Sauro, Ugo: Reflection about high mountain karst environments and their fragility in the Dolomites\***

In the plateau areas of high mountain in the Dolomites between two and three thousand meters in elevation, karst landforms are well developed and in general the interference between glacial and karstic processes with development of a typical glaciokarstic relief is clear. In the past these areas were visited by very few people as hunters of chamois or as shepherds. Today is impressive the frequentation of high dolomitic mountain by excursionist and skiers. Modifications induced by human frequentation and use of these extreme environments are heavy. From 1983 some few aspects of chemistry of waters in relation with well differentiated microenvironments in the Pale di San Martino have been investigated.

**Izvleček**

UDK 504.06:551.44(234.323.33)

**Meneghel, Mirco & Sauro, Ugo: Razmišljanje o visokogorskem krasu Dolomitov in njegovi ranljivosti**

V Dolomitih so na planotah v višinah med 2500 in 3000 m visokogorske kraške oblike dobro razvite in običajno je na tipičnem glaciokraškem reliefu razmerje med glacialnimi in kraškimi procesi jasno vidno. V preteklosti so ta področja obiskovali le redki lovci na gamse in pastirji. Danes pa so izletniki in smučarji v visokih Dolomitih izredno številni. Posledice množičnega obiska in izrabe tega izjemnega okolja so težke. Od 1983 so raziskovali nekatere kemijske lastnosti voda glede na mikroekološke razlike na Pale di San Martino. Odnos različnih kemijskih parametrov je podan na slikah 1 in 2.

---

\*Department of Geography of the University of Padova.

Research carried out with the contribution of Ministero della Pubblica Istruzione.

A characteristic feature of high mountain in the Dolomites is the presence, between two and three thousand meters in elevation, of large plateau surfaces. These plateaus are linked both with the structural control, in particular with the frequency of subhorizontal bedding of the carbonate sedimentary sequence, and also with the presence of erosional surfaces developed during the complex orogenetic and morphogenetic history of the region. This feature makes the high mountain area quite extensive in comparison with other alpine regions.

In the plateau areas, high mountain karst landforms are well developed and in general the interference between glacial and karstic processes with development of a typical glaciokarstic relief is clear. Here the vegetation cover is scarce or absent and, especially above the elevation of 2500 meters, the scenery is that of a stony desert. At lower elevations the bottoms of glaciokarstic depressions often represent small oasis, which lodge isles of meadow soils and small lakes sometimes. A common opinion about the high mountain karstic desert areas is that they don't represent peculiar environments worthy of protection. So they may be destroyed by everybody for every purpose without any control.

In the past these areas were visited by very few people as hunters of chamois or as shepherds. In the first half of this century some hydro-electric plants were developed also in high mountain karst regions. Notwithstanding this, no dams were built on the plateau, but only in the valley bottoms. Systems of galleries were built to connect reservoirs, which crossed also important underground karst cavities.

Today is impressive the frequentation of high dolomitic mountain by excursionist and skiers. According to WALTER in 1989 the overnight presences of tourists in the villages of Dolomites were 56 millions; the number of arrivals was 6 million (average stay of about 10 days); the total number of passenger cableways, chair lifts and ski-lifts is 470; the number of ski tracks where the slope surfaces were artificially remodelled is of many hundreds; the number of snow shooting cannons in the past winter was about 1000 (and some use additives as Ammonium nitrate). Beside this there are hundreds of high mountain equipped tracks and hundreds of alpine huts and bivouacs.

Modifications induced by human frequentation and use of these extreme environments are heavy: increase of the erosion on the slopes, waste waters of the alpine huts in karst networks, solid waste disposals near the huts and along the most frequented tracks. In the summer of 1988 "Mountain Wilderness" promoted a cleaning operation of the southern slope of Marmolada, the highest of the dolomitic mountains. Many impressive photographs were taken on wastes and some hundreds of sacks were piled. On the same occasion was denounced the fact that, to make the ski less dangerous, in the northern slope of Marmolada some crevasses of the glacier had been filled with sacks of expanse polythene.

## PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL RESEARCH IN HIGH MOUNTAIN KARST ENVIRONMENT

The first impression for an excursionist in a high mountain karst area is that in it there is no life, or very simple life forms. The reality is that there are pioneer forms of life, which are not so easy to be detected and are bad known. The study of such pioneer communities may represent one of the next frontiers of environmental interdisciplinary research. The comprehension of the characters of the different groups of micro and small organisms from bacteria, to algae, to lichens, of the development of special communities and of their interactions may represent an important step for a better comprehension of the nature. Also the development of pioneer soils may be interesting.

So it is important to promote inter-disciplinary research to demonstrate that it is a false both that these environments are without interest and that they are undifferentiated. Finally it has to be studied the fragility of these environments. It is important to evaluate the possible influences of acid rains (some kinds of lichens are disappearing perhaps because of the acid rains), of the chemicals for the artificial snow, and of other forms of pollution on the pioneer communities. From 1983 we are engaged in a research programme devoted to highlight the geomorphological characteristics of the Southern Alps with a specific interest to the karst environments and karstic processes.

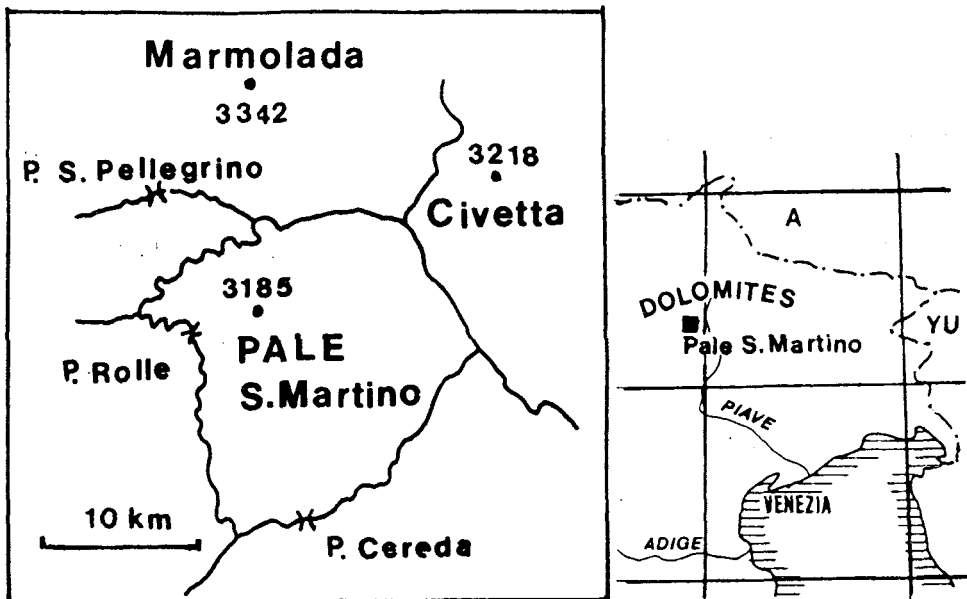


Fig. 1 Geographical position of Pale di San Martino

Sl. 1 Geografski položaj planote Pale di San Martino

## **SOME CHARACTERS OF THE WATERS IN THE PALE OF SAN MARTINO PLATEAU**

In 1983 we investigated some few aspects of chemistry of waters in relation with well differentiated microenvironments in the Pale di San Martino. The Pale di San Martino is one of the highest dolomitic plateaus, between 2500 and 3000 meters a. s. l. (Fig.1)

The plateau is subject to a very wide range of changes during the annual cycle:

- 8 - 10 months with a snow cover and temperatures below 0°C; - some weeks with a large amount of water saturated in some positions (in many places the karstic absorption is made impossible because of the frost conditions of the epikarst);
- 2 - 4 months with semiarid conditions with a drastic daily cycle of temperature and humidity; temperature on the rocky surfaces may vary between below zero °C and some tens of degree above; humidity may also vary between saturation conditions during night to very dry ones during the day. These variations are wide also in the small water bodies as the filling ones of solution pans where the water may be frozen in the night and raised to temperature till to about 20°C during the day.

Five different microenvironments for water sampling were distinguished:

- snow melting waters very near to the origin;
- snow melting rills and lakes on the plateau;
- solution pans;
- small peat mosses;
- torrents and springs on the slopes.

The range of different chemical parameters is exemplified in the fig. 2. Low temperatures have been found only in snow melt waters and in the spring and torrents; the higher temperatures of the other environments are due to the fact that measures have been made during the day: here in the night a huge drop of temperature has to be expected. Waters are always basic and often very basic; only one measured snow melt water revealed a pH of 6.5. The low pH of the peat is probably due to biological activity. The total hardness vary from 17 mg/l in a solution pan and in a snow melt rill to 230 mg/l in a spring along the slope bordering the plateau. A hardness of 970 mg/l measured in an other spring of the same slope is probably due to gypsum layers crossed by the water in its underground run. Ca hardness contributes from 48% to 88% to the total hardness. CO<sub>2</sub> content is usually low; only springs and torrents in the slope show a content up to 20 mg/l.

Fig. 3 is a diagram showing total hardness against elevation. Here all the measurements have been put regardless of the microenvironment. A general increase of the hardness is clearly showed with decreasing elevation. Waters are enriched of carbonates at lower elevation because of longer paths in the ground and the increased biological activity.



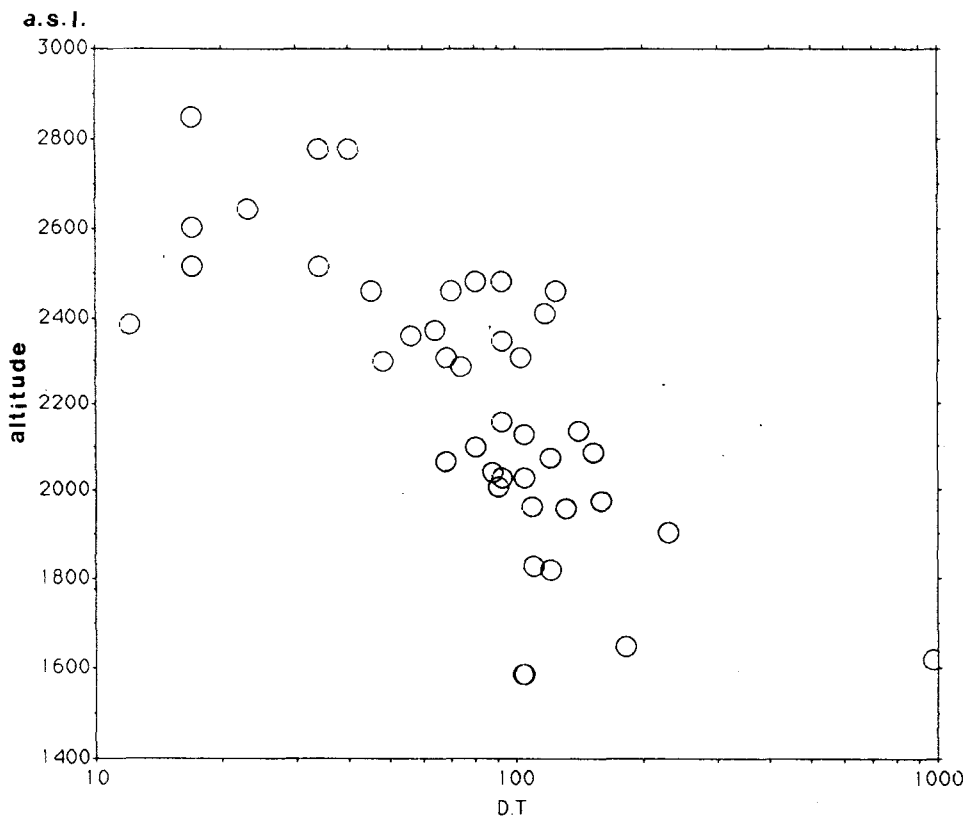


Fig. 2 Physical and chemical parameters measured in the waters of some microenvironments in the Pale di S. Martino dolomitic mountain. A - snow melt waters very near to the origin; B - rills and lakes on the plateau fed by snow melt waters; C - solution pans; D - small peat mosses, E - torrents and springs on the slopes bordering the plateau, TH - total hardness in mg/l of  $\text{CaCO}_3$  (white rectangles - Ca hardness);  $\text{CO}_2$  content in mg/l.

Sl. 2 Fizični in kemijski parametri, merjeni v vodah manjšega področja Pale di San Martino v Dolomitih. A - snežnica, zelo blizu izvora; B - škraplje in jezerca na planoti, ki jih napaja snežnica; C - kamenice; D - krpe mahovne šote; E - hudourniki in izviri na pobočju pod planoto; TH - celokupna trdota  $\text{CaCO}_3$  v mg/l (beli pravokotniki - Ca trdota); vsebnost  $\text{CO}_2$  v mg/l.

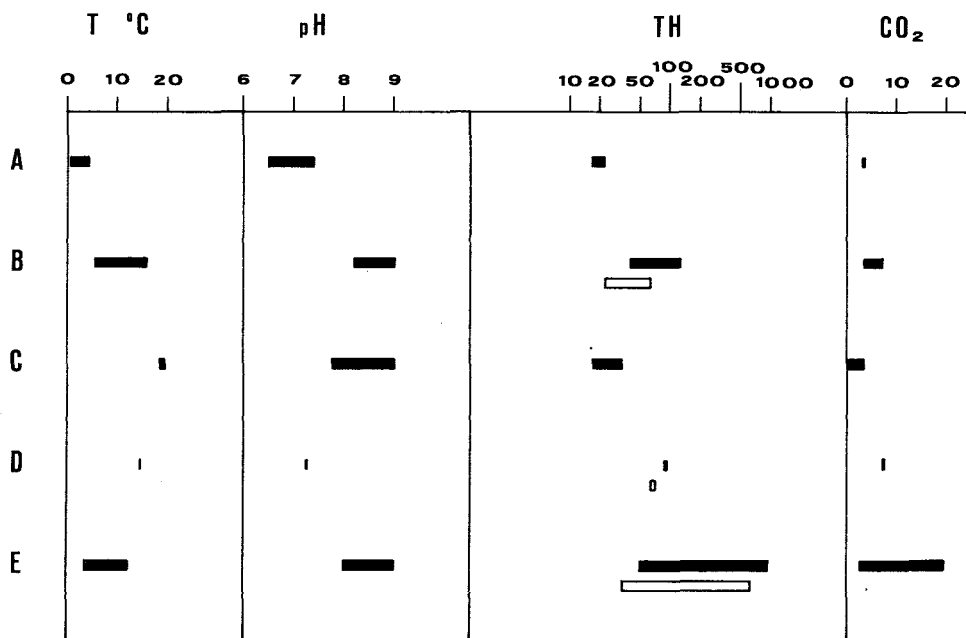


Fig. 3 Total hardness (in mg/l of CaCO<sub>3</sub>) against elevation in metres. Horizontal scale is not linear.

Sl. 3 Celokupna trdota (CaCO<sub>3</sub> v ng/l) glede na nadmorsko višino. Vodoravna skala ni linearna.

### BIBLIOGRAPHY

- DE FANTI, 1971: Forme di corrosione dovute a microorganismi osservate nel Gruppo del Civetta (Alpi Dolomitiche). Boll. Soc. Geogr. It., s. 9, v. 12, n. 10-12, 605-618.
- FORD, D. C., Ed. 1985: Castleguard cave and Karst, Columbia Icefields area, Rocky Mountains of Canada: a symposium. Artic and Alpine Research, 15/4, 425-560.
- MENEGHEL, M., SAURO U., BACIGA, M. L., FILECCIA, A., FRIGO, G., TONIELLO, V. e ZAMPIERI, D., 1986: Sorgenti carsiche ed erosione chimica nelle Prealpi Venete. Studi Trentini di Scienze Nat., 62, A.G., 145-172.
- NICOD, J., 1976: Les Dolomites de la Brenta (Italie). Karst haut alpin typique et le problème des couvettes glaciokarstiques. Zeitschr. Geomorph., n.s. 26, 35-57.
- ORENGO, C., 1976: Le haut plateau des Pale di San-Martino (Dolomites italiennes). Problemmes morphologiques. Mediterranée, 4, 63-73.
- WALTER, G.(a cura di), 1990: Le Dolomiti Lacerate. Inserto di "Alp" n° 61, maggio 1990, 32 pp.
- ZAMPIERI, D., 1987: Le piattaforme carbonatiche triassiche delle Pale di San Martino (Dolomiti). Mem. Sc. Geol. 39: 73-83.
- EK, C., 1966: Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers: l'exemple de la Marmolada (Dolomites). Ann. Soc. Géol. Belgique, t. 89 (1965-66), bull. 5-10, 177-188.
- MIETTO, P., SAURO, U., 1989: Le Grotte del Veneto: paesaggi carsici e grotte del Veneto. Regione del Veneto - La Grafica Editrice, 415 pp.

## RAZMIŠLJANJE O VISOKOGORSKEM KRASU DOLOMITOV IN NJEGOVI RANLJIVOSTI\*

### Povzetek

Prostrane planote na višini dva do tri tisoč metrov so značilne za visokogorski kras v Dolomitih. Visokogorske kraške oblike so dobro razvite in običajno je na tipičnem glaciokraškem reliefu odnos med glacialnimi in kraškimi procesi jasno viden. Vegetacije skoraj ni in zlasti nad 2500 m daje pokrajina videz kamnite puščave. V preteklosti so ta področja obiskovali le redki lovci na gamse in pastirji. V prvi polovici tega stoletja je zraslo tudi na področju visokega krasa nekaj elektrarn. Zgrajen je bil sistem cevi za povezovanje rezervoarjev, ki prečkajo pomembne podzemne votline. Danes pa je obisk izletnikov in smučarjev na visoke gore Dolomitov izreden.

Po podatkih WALTER (1990) je bilo v letu 1989 po naseljih v Dolomitih 56 milijonov nočitev; obiskovalcev je bilo 6 milijonov, skupno število žičnic, sedežnic in vlečnic je 470; število smučarskih prog, zaradi katerih je bilo površje umetno spremenjeno, je več sto; v zadnji zimi je delovalo približno 1000 snežnih topov. Poleg tega obstoja na stotine urejenih planinskih poti, koč in bivakov. Spremembe, ki jih povzroča množični obisk in izraba tega izjemnega okolja so težke; povečanje erozije na pobočjih, odpadne vode iz alpskih koč v kraškem podzemlju, gore odpadkov ob kočah in ob najbolj obiskanih poteh.

Od 1983 so raziskovali nekatere kemijske lastnosti voda na Pale di San Martino. Odnos različnih kemijskih parametrov je podan na sliki 1. Vode so običajno bazične, pogosto zelo bazične; samo en vzorec snežnice je imel pH 6.5. Razlog za nizek pH šote verjetno leži v biološki dejavnosti. Skupna trdota niha od 17 mg/l v kamenicah in škrapljah, do 230 mg/l v izvirih na pobočjih pod planotami. Vsebnost CO<sub>2</sub> je običajno nizka; le v izvirih in hudournikih na pobočjih je bila izmerjena vrednost do 20 mg/l. Slika 2 prikazuje diagram odvisnosti celokupne trdote glede na višino. V splošnem rastejo trdote z zniževanjem nadmorske višine.

Prevedla Maja Kranjc

---

\*Referat je bil posredovan na jugoslovansko italijanski konferenci o geoeкологији gorskega krasa, julija 1990 na Velebitu (Zavižan).

YU ISSN 0583-6050  
ACTA CARSOLOGICA  
KRASOSLOVNI ZBORNIK  
XIX  
1990

Izdala  
Slovenska akademija znanosti in umetnosti  
v Ljubljani

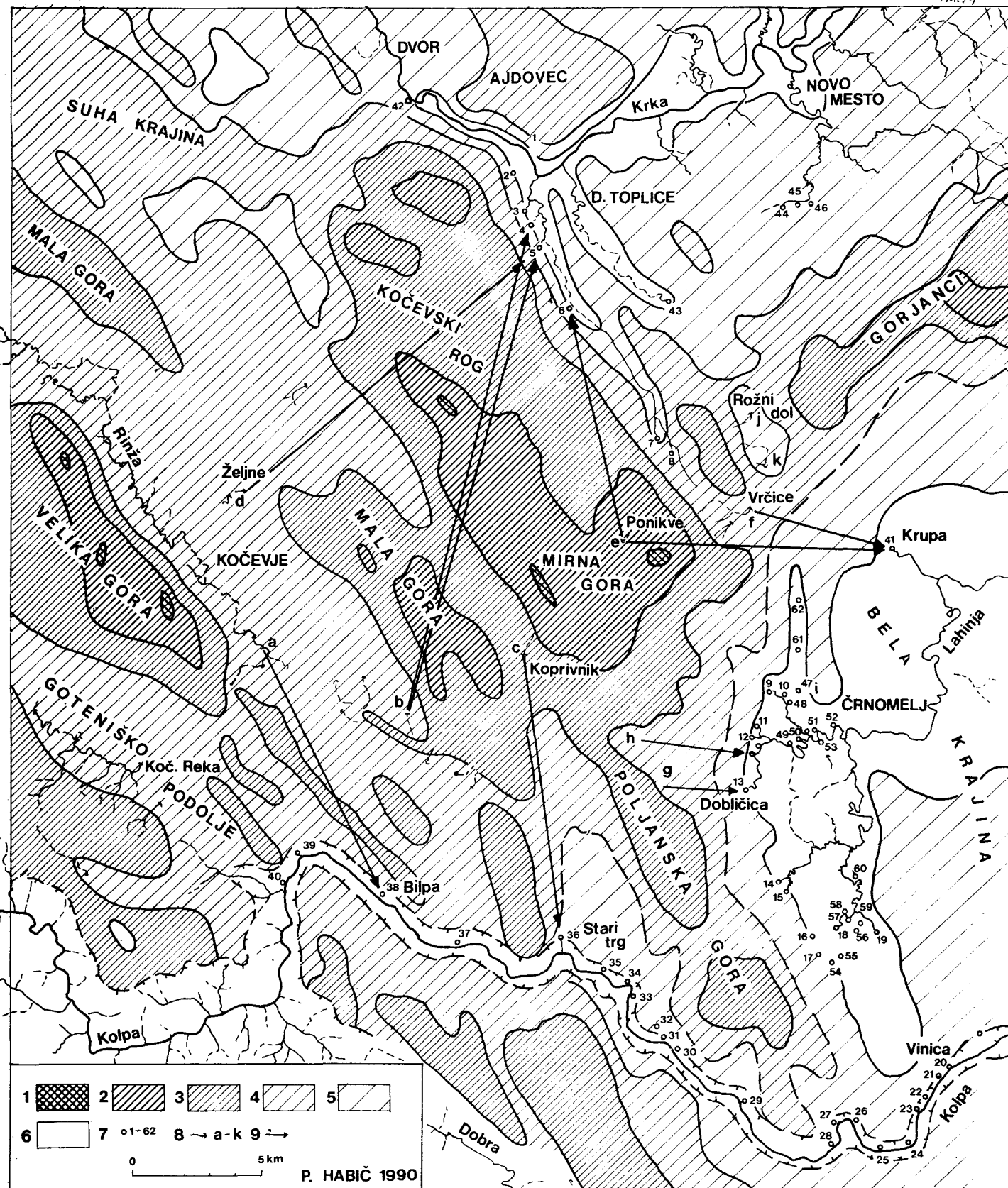
Tehnična ureditev s programom Steve P. Jakopina  
Natisnila  
Tiskarna Pleško  
v Ljubljani  
1991

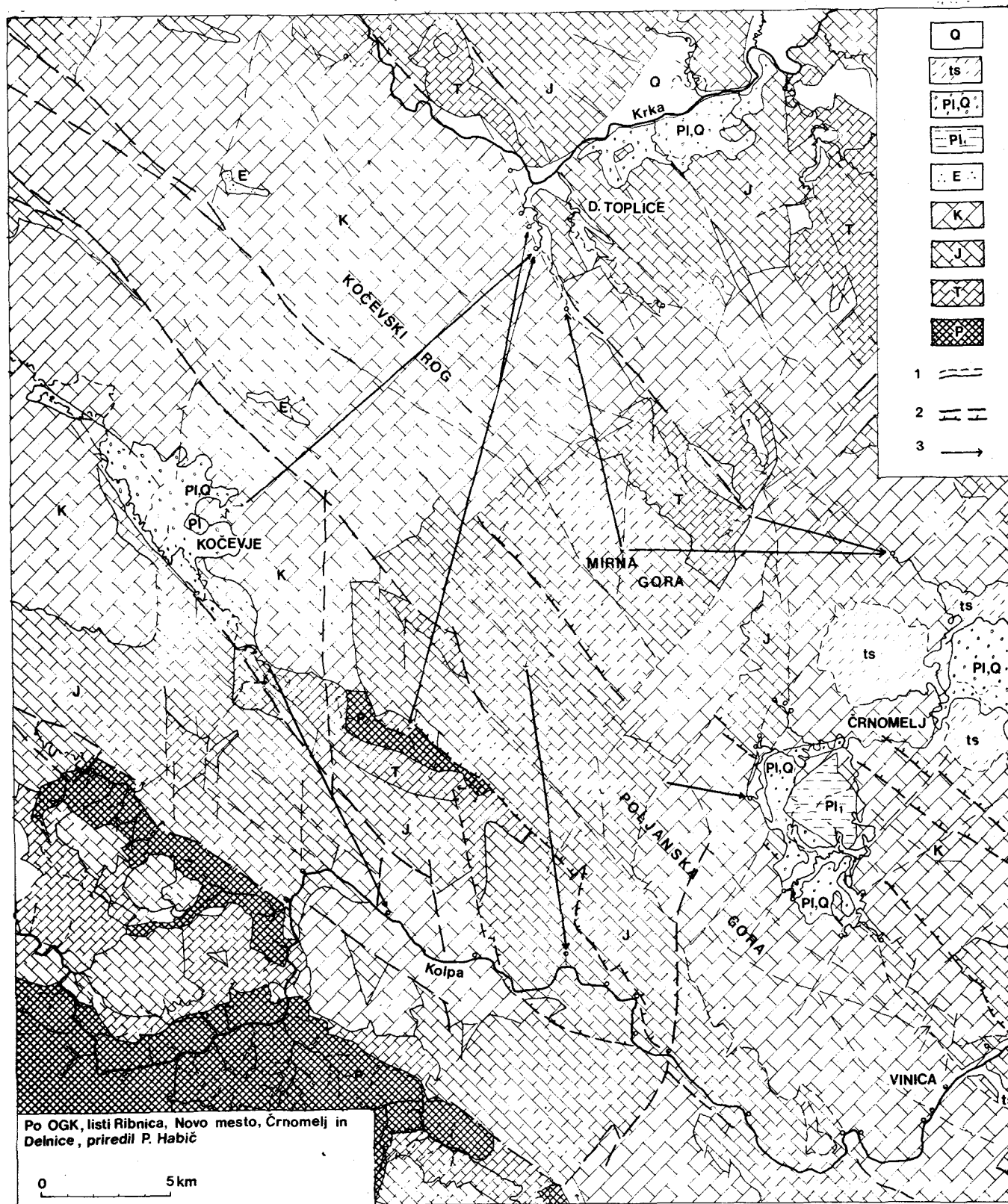
Naklada 1200 izvodov

- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 - površje nad 1000 m,        | 1 - surface above 1000 m,          |
| 2 - med 800 in 1000 m,         | 2 - between 800 and 1000 m,        |
| 3 - med 600 in 800 m,          | 3 - between 600 and 800 m,         |
| 4 - med 400 in 600 m,          | 4 - between 400 and 600 m,         |
| 5 - med 200 in 400 m,          | 5 - between 200 and 400 m,         |
| 6 - med 100 in 200 m,          | 6 - between 100 and 200 m,         |
| 7 - izvir (glej seznam),       | 7 - spring (se the list),          |
| 8 - ponikalnica,               | 8 - sinking flow,                  |
| 9 - ugotovljene podzemne zveze | 9 - stated underground connections |

Seznam izvirov, ponorov in vzorčevanj  
The list of springs, ponors and samplings

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1 Krka pri Soteski<br>(mesto vzorčevanja) | 32 Pri Jamah                 |
| 2 Crkavnik                                | 33 Ušivec                    |
| 3 Suhorščica                              | 34 Jeplenca                  |
| 4 Obrh                                    | 35 Sodevci                   |
| 5 Radešica                                | 36 Dolski potok              |
| 6 Ušprunk, Kočevske Poljane               | 37 Šumetac                   |
| 7 Črmošnjica (Občice)                     | 38 Bilpa                     |
| 8 Črmošnjica (Srednja vas)                | 39 Kobilna jama              |
| 9 Sihurna                                 | 40 Kotnica                   |
| 10 Talački Breg                           | 41 Krupa                     |
| 11 Jelševnik                              | 42 Tominčev studenec         |
| 12 Obršec                                 | 43 Sušica                    |
| 13 Dobličica                              | 44 Vejer                     |
| 14 Podturniščica                          | 45 Lokovnice                 |
| 15 Obrščica                               | 46 Rakovnik                  |
| 16 Ljubešnica                             | 47 Zdenec pri Otovcu         |
| 17 Gradnica                               | 48 Pački Brežiček            |
| 18 Okno, Nerajčica                        | 49 Izvir na Okljuku          |
| 19 Lahinja                                | 50 Šprajcarjev zdenec        |
| 20 Kaček                                  | 51 Svibnik                   |
| 21 Zjot                                   | 52 Planinc                   |
| 22 Učakovski mlin                         | 53 Kočevski studenec         |
| 23 Žlanik                                 | 54 Suhorski Breg             |
| 24 Vukovski studenec                      | 55 Selčica                   |
| 25 Otok                                   | 56 Glušenka                  |
| 26 Krivec                                 | 57 Stepanjec                 |
| 27 Lapič                                  | 58 Krnica                    |
| 28 Izvir pri Kotu                         | 59 Djud                      |
| 29 Kobiljača                              | 60 Toplica                   |
| 30 Tropotec                               | 61 Stobe                     |
| 31 Poganec                                | 62 Studenec pri Ručetni vasi |



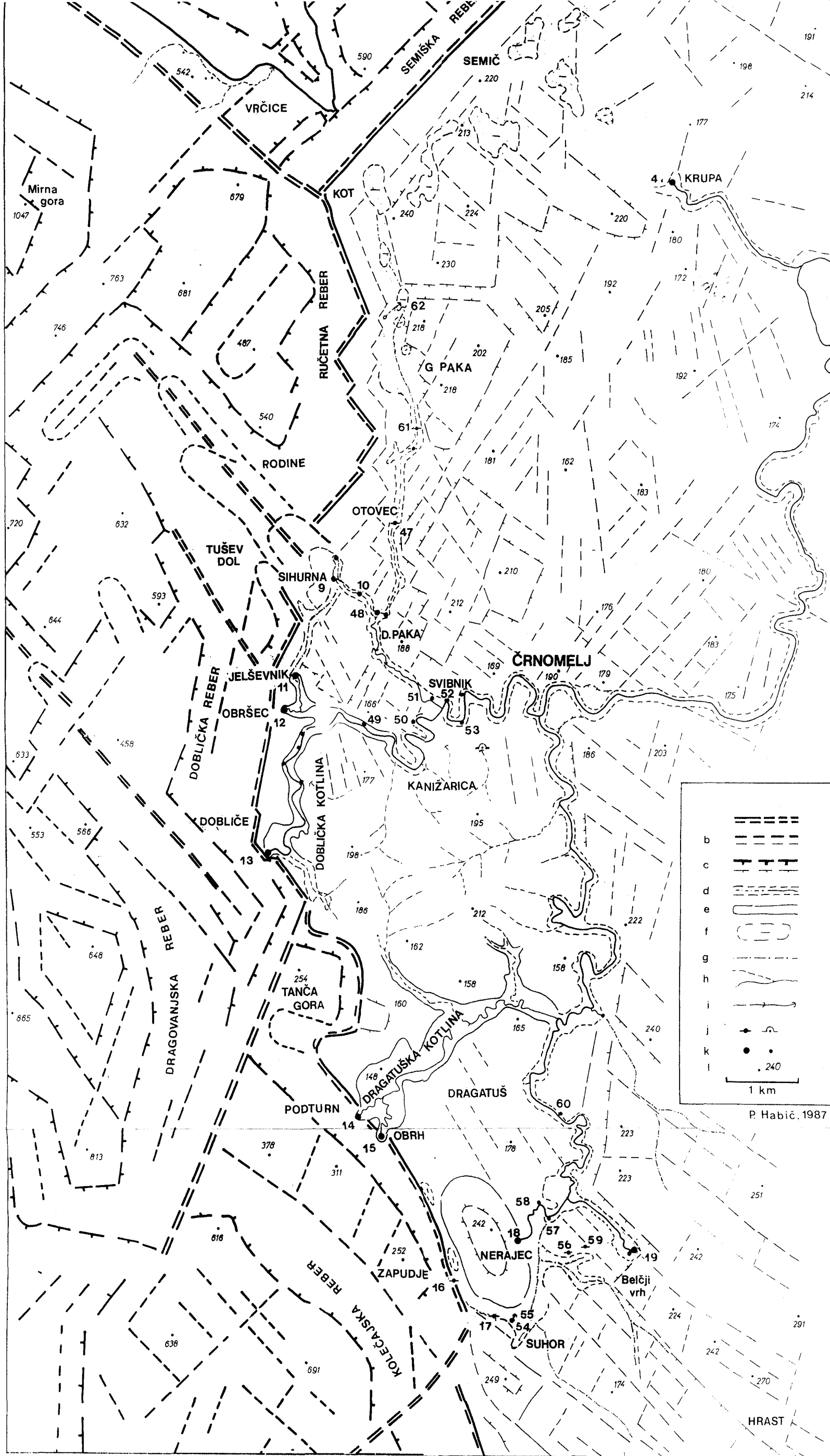


Priloga 2 Hidrogeološka skica ozemlja med Krko in Kolpo

- Q - rečne naplavine, prepustno do neprepustno,
- ts - terra rossa, slabo prepustno,
- PI.Q - rdečkasto rjava ilovica, slabo prepustno - nerprepustno,
- PI<sub>1</sub> - pliocenski laporji s premogom, neprepustno,
- E - rdečkast lapor, slabo do neprepustno
- K - apnenci in dolomiti, dobro prepustno
- J - apnenci in dolomiti, dobro prepustno,
- T - dolomiti, delno prepustno,
- P - kremenovi peščenjaki in glineni skrilavci, neprepustno,
- 1 - stratigrafska meja,
- 2 - prelom in nariv,
- 3 - dokazana podzemeljska vodna zveza.
- 4 - izvir, ponor

Annex 2 Hydrogeological sketch of the area between Krka and Kolpa

- Q - fluvial sediments, permeable to impermeable,
- ts - terra rossa, badly permeable,
- PI.Q - reddish brown loam, badly permeable - impermeable,
- PI<sub>1</sub> - Pliocene marls with coal, impermeable,
- E - reddish marl, badly to impermeable
- K - limestones and dolomites, badly permeable,
- J - limestones and dolomites, well permeable,
- T - dolomites, partly permeable
- P - chert sandstones and clay shales, impermeable,
- 1 - stratigraphic boundary,
- 2 - fault and overthrust,
- 3 - evidenced underground water connection,
- 4 - spring, ponor

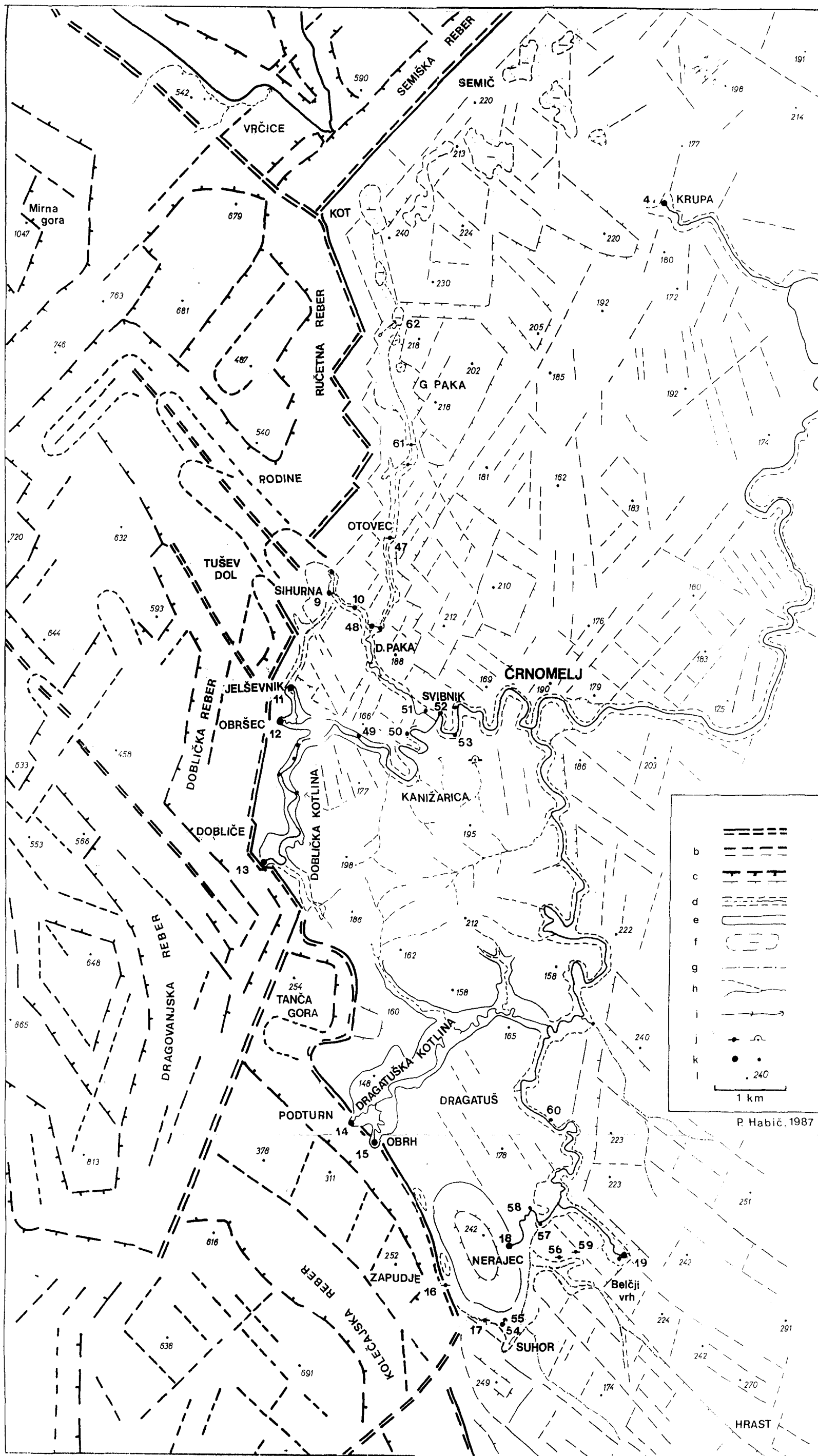


Priloga 4  
Morfološka hidrografska skica dobličkega podolja z obrobjem

- a - spodnji rob dvignjene morfološke enote
- b - kraška brazda (debela črta - na višji planoti, tenka črta - na nižji planoti)
- c - zgornji rob rebri
- d - kanjonska dolina z občasnim in stalnim tokom
- e - poplavna ravnica
- f - uvala v suhi dolini
- g - vrtačasta suha dolina
- h - stalni in občasni tok
- i - ponikalnica s požiralnikom
- j - kraško okence in ponorna jama
- k - kraški izvir, večji, manjši
- l - višinska točka

Annex 4  
Morphological hydrographical sketch of Dobličica valley and related areas

- a - lower border of uplifted morphological unit
- b - karst furrow (thickline - on higher plateau, thin line - on lower plateau)
- c - upper part of slope
- d - canyon valley with periodical and permanent flow
- e - flood plain
- f - dry valley with dolines
- g - ouvala in dry valley
- h - permanent and periodical flow
- i - sinking stream with swallow hole
- j - karst window and ponor cave
- k - karst spring, bigger, smaller
- l - altitude point







Sl. 1 Litološko - tektonska in hidrološka karta zaledja Kajže s prerezom

Fig.1 Lithological - tectonic and hydrologic map and cross - section of Kajža  
hydrological background

- |  |   |
|--|---|
| 1 - pobočni grušč  | 1 - slope rubble  |
| 2 - aluvij   | 2 - alluvial deposits   |
| 3 - fliš   | 3 - flysh   |
| 4 - bazalna apnenčeva blokovna breča                       | 4 - basal block like limestone breccia                        |
| 5 - bel, svetlosiv in temnosiv organogen grebenski apnenec | 5 - white, light grey and dark grey organogene reef limestone |
| 6 - siv bituminozen plastnat apnenec                       | 6 - grey bituminous bedded limestone                          |
| 7 - geološka meja  | 7 - geological border   |
| 8 - erozijska diskordanca                                  | 8 - erosion discordance                                       |
| 9 - postopen litološki prehod                              | 9 - gradual lithological transition                           |
| 10 - močan prelom, vpad prelomne ploskve                   | 10 - stron fault, strikr of fault plain                       |
| 11 - srednje močan prelom                                  | 11 - medium strong fault                                      |
| 12 - šibak prelom  | 12 - weak fault   |
| 13 - os sinklinale   | 13 - axis of sincline   |
| 14 - os antiklinale  | 14 - axis of anticline  |
| 15 - vpad plasti   | 15 - strike of beds   |
| 16 - vpad razpok   | 16 - strike of fissures                                       |
| 17 - razpoklinska cona                                     | 17 - fissure zone   |
| 18 - porušena cona   | 18 - broken zone  |
| 19 - zdrobljena cona                                       | 19 - chrushed zone  |
| 20 - izviri  | 20 - springs  |
| 21 - zajeti izviri   | 21 - water captures   |
| 22 - požiralnik, ponikva                                   | 22 - swallow - hole, swallet                                  |
| 23 - kraško brezno   | 23 - karst pothole  |
| 24 - površinska voda                                       | 24 - superficial water  |
| 25 - stoječa površinska voda                               | 25 - stagnant superficial water                               |
| 26 - prerez  | 26 - cross - section  |