

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

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

PETER HABIČ - JANJA KOGOVŠEK

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12-12)

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

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

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

Abstract

UDC 556.34.04(497.12-12)

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

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

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

Naslov - Address

Dr. Peter Habič, dipl. geogr.

Mag. Janja Kogovšek, dipl. ing. kem.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

66230 Postojna, Titov trg 2

Slovenija

VSEBINA

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

UVOD

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

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

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

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

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

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

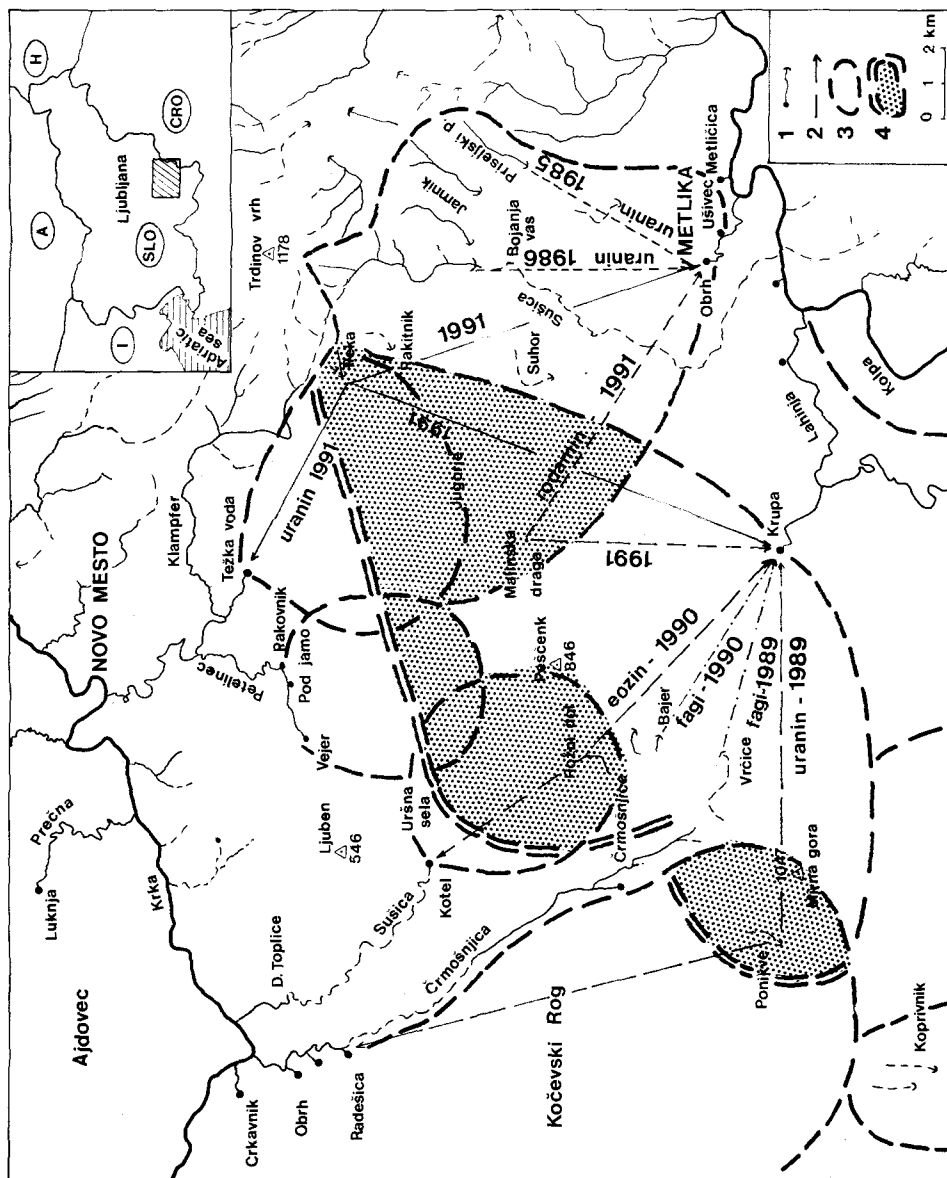
POLOŽAJ IN OMEJITEV RAZISKOVANEGA OBMOČJA

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

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

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

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



Slika 1. Hidrografska skica ozemlja med Krko in Krupo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GEOLOŠKA ZGRADBA OZEMLJA MED KRKO IN KRUPO

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

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

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

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

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

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

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

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

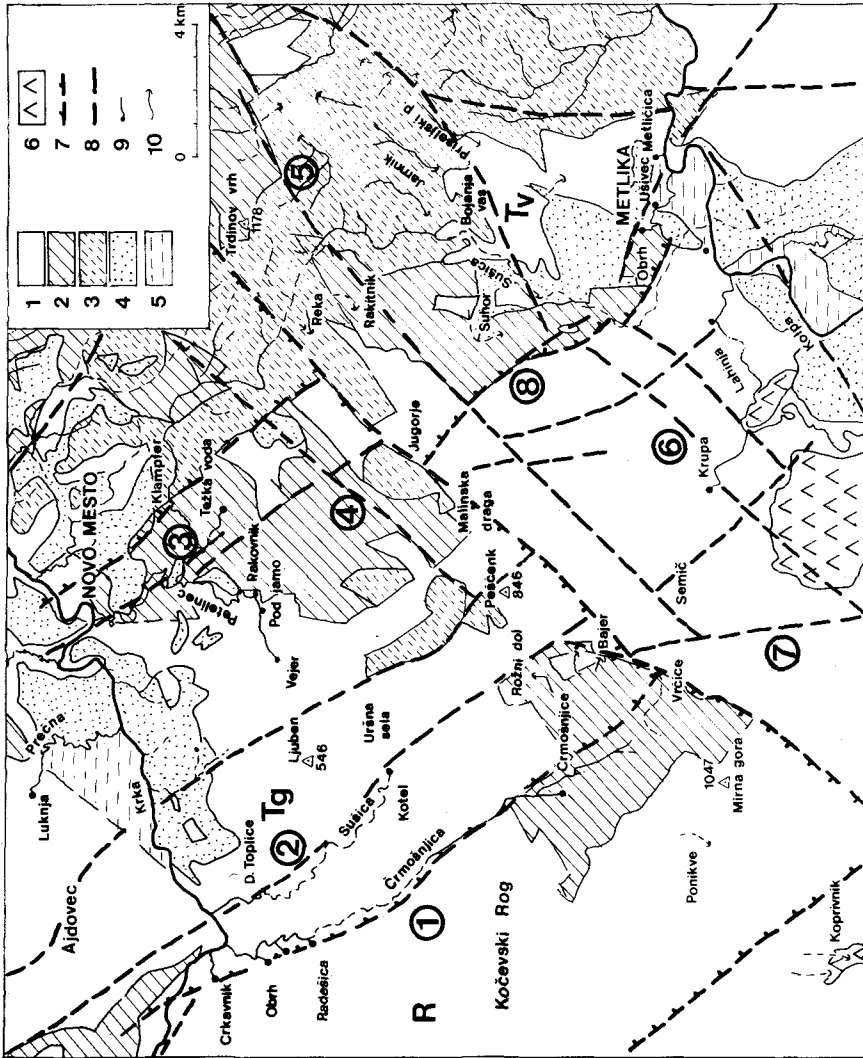
V ožjem zaledju Krupe zavzemajo največje površine baremijski in aptijski apnenci in dolomiti spodnje krede, celotni kompleks je debel 500 do 700 m. V jedru sinklinale, v katero je zarezan kanjon Krupe, se nahajajo albijski spodnje kredni bituminozni apnenci in dolomiti, skupne debeline do 500 m. Prehodi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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI KRAŠKEGA VODNOSNIKA

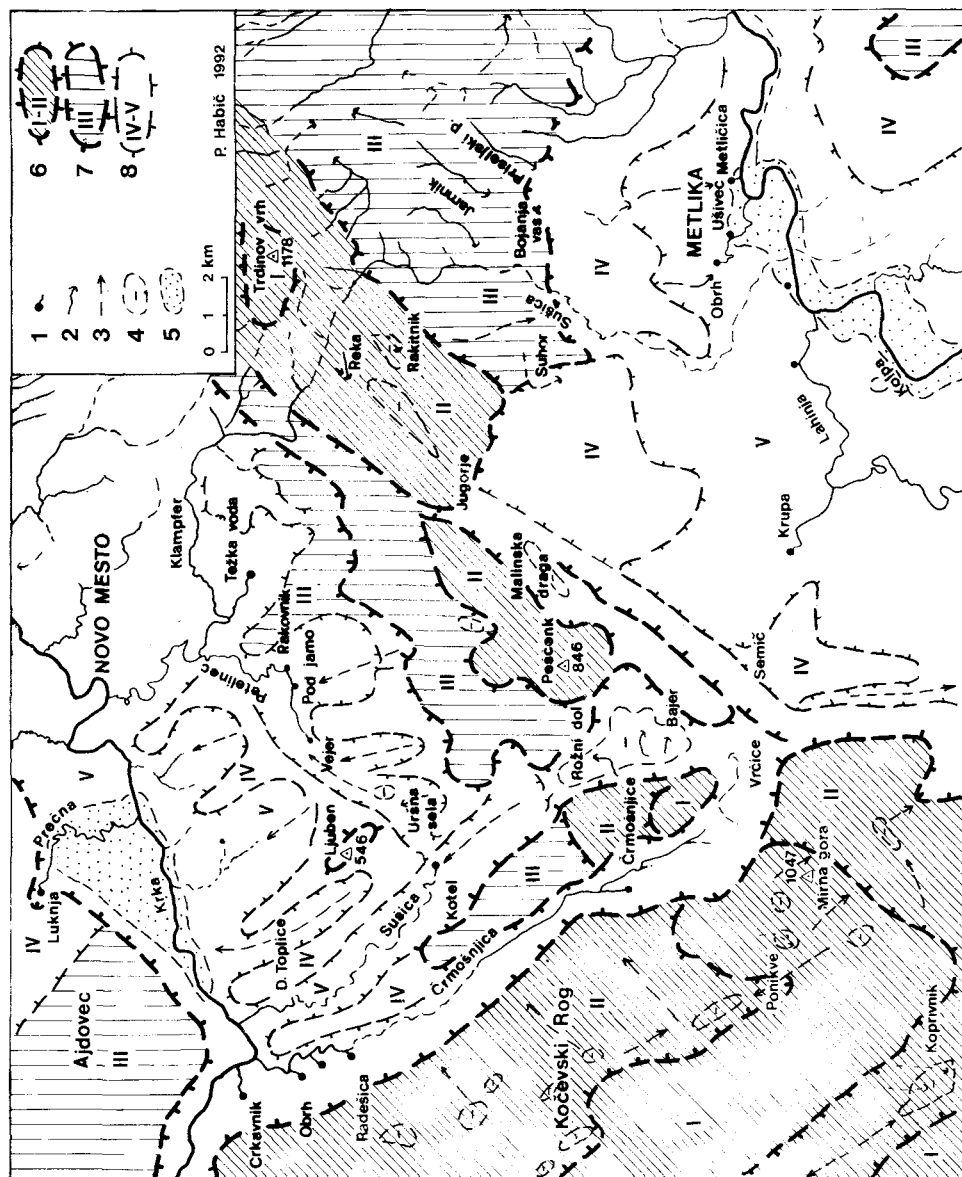
V skladu z litološko sestavo in tektonsko zgradbo imamo na ozemlju med Krko in Krupo opravka s sestavljenim kraškim vodnosnikom. Manjšo relativno višečo hidrogeološko bariero predstavlja triasni dolomit z delno površinsko vodno mrežo pri Črmošnjicah, Vrčicah in Rožnem Dolu. Dolomitno zaledje Težke vode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

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

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

RELIEFNE ZNAČILNOSTI KRAŠKEGA VODNOSNIKA MED KRKO IN KRUPO

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



Slika 3. Morfološka skica ozemlja med Krko in Krupo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

STRUKTURNA RAZPOREDITEV VRTAČ V KRAŠKEM ZALEDJU KRUPE

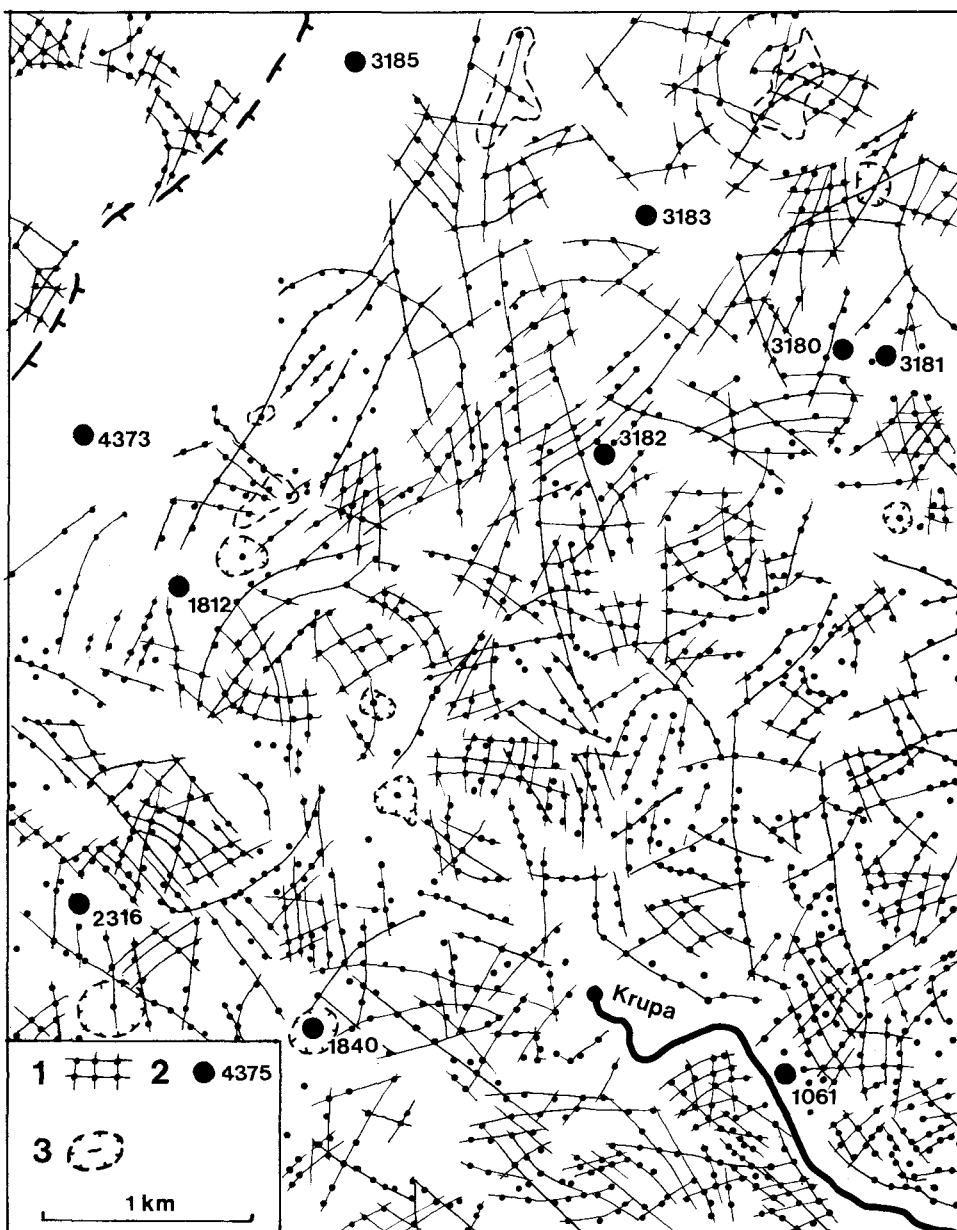
V kraškem reliefu prihaja do veljave struktura kamninske podlage. Njena prepustnost se kaže v razporeditvi nizov vrtač, kraških dolov in brazd. Te so večinoma pogojene z odprtimi razpoklinskimi sistemi ob prelomih, kjer je možno izdatnejše odnašanje drobirja in raztopljene kamnine v podzemlje. Ker v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

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

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

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

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



Slika 4. Strukturni razpored vrtač v ožjem zaledju Krupe

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

Fig. 4. Structural dolines distribution in narrow Krupa background

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

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

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

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

Za linearni podzemeljski odtok so verjetno primernejše daljše vzporedne strukture, medtem ko so obročaste strukture ugodnejše za koncentriran vertikalni odtok. Pri lociranju raziskovalnih vrtin bi nakazala metoda izrednega pomena.

SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI ZALEDJA KRUPJE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

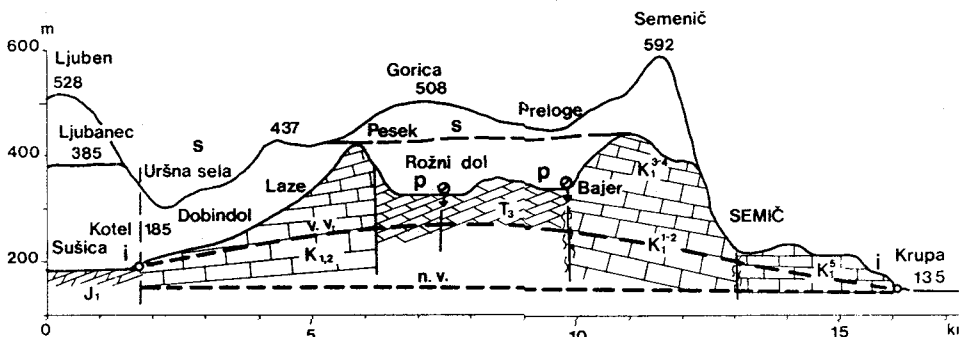
Med najbolj onesnažene belokrajnske jame spada Malikovec (št.2316,-35) pri Semiču in blizu izvira Krupe. Odpadki v Malikovcu neposredno ogrožajo Krupo. Razen v Malikovcu pa je okoli Semiča še cela vrsta znanih in prikritih odlagališč, ki bi jih morali čimprej sanirati. Izvir Krupe je namreč tako pomemben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

FIZIKALNO KEMIJSKE LASTNOSTI VODA

Ponikalnici v Rožnem Dolu in Bajerju ob sledenju 1990 leta

Rožnodolski potok ima v primerjavi z Bajerjem (Slika 5) bolj senčno strugo, vendar nekoliko višje temperature. Prvi ima temperaturo med 11.5 in 19.6, drugi le med 10.3 in 11.2°C. Obratno velja za specifično električno prevodnost (SEP), ki se giblje v Rožnodolskem potoku med 402 in 428, v Bajerju pa med 45° in 513 μScm^{-1} . Skladno s SEP so tudi karbonatne in celotkupne trdote višje v Bajerju (med 244 in 278 mgCaCO_3/l) kot v Rožnem dolu (med 234 in 238 mg/l). V obeh vodah, ki se stekata iz triasnega dolomita je razmeroma visok delež magnezija, saj je v obeh primerih ta delež skoraj enak kalcijevemu. Rožnodolski potok vsebuje med 117 in 122 $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ kalcija, Bajer pa med 134 in 155 $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$. V Bajerju je tudi nekaj več nitratov (od 3-7,6 mg/l) kot v

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



Slika 5. Morfološki presek Sušica - Rožni Dol - Krupa

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

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

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

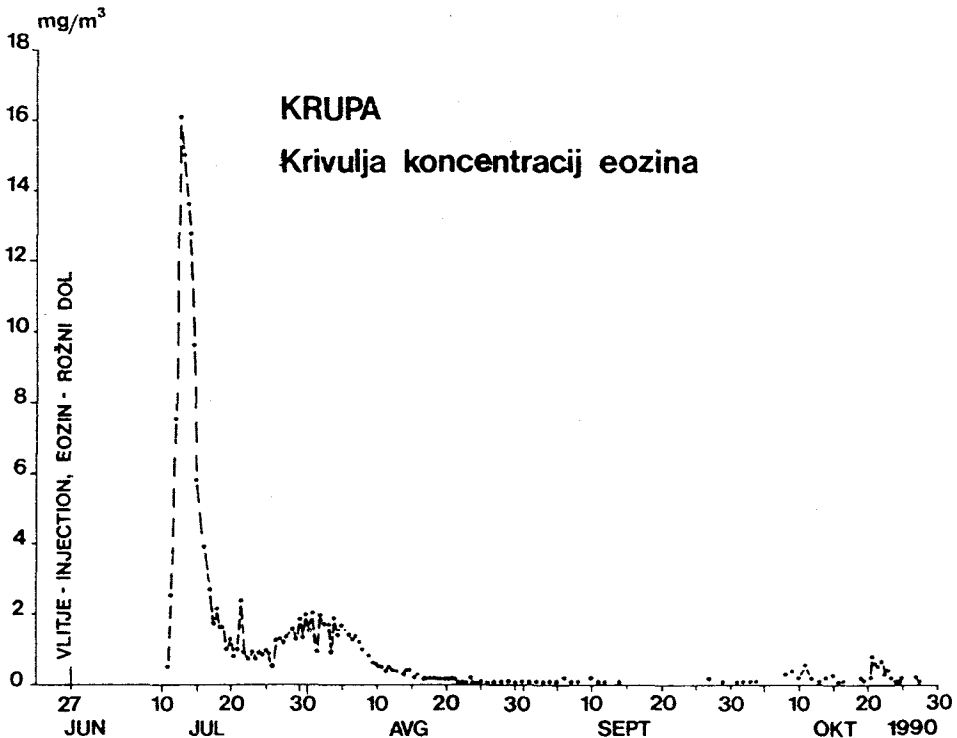
Rožnodolskem potoku (med 2.6 in 4.8 mg/l). Občasno povišanje vsebnosti o-fosfatov (do 0,16mg/l) in sulfatov (do 7mg/l) nakazuje onesnaženost teh površinskih voda.

Lastnosti izvirov ob sledenju 1990

Kemična sestava Sušice se precej razlikuje od omenjenih ponikalnic. Tako smo po količini in sestavi sklepali, da vode iz Rožnega Dola ne napajajo nizke Sušice. Temperature Sušice so višje (med 13.3 in 20 °C). Ker so merjene precej pod izvirov in ni izključeno površinsko segrevanje. Pač pa so vrednosti SEP (med 317 in 417 μScm^{-1}) precej nižje, podobno kot trdote (karbonatov je med 197 in 219 mg/l), razmeroma majhen je tudi delež magnezija (med 40 in 60 mg CaCO_3/l), zato je razmerje Ca/Mg višje (od 3 do 4,2). Po onesnaženosti so si vode bolj podobne.

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

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



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

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

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

Fizikalno kemijskih lastnosti ponikalnic in izvirov ob sledenju leta 1991

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

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

TABELA 2. Rezultati meritev voda ob sledenju 1990 leta

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

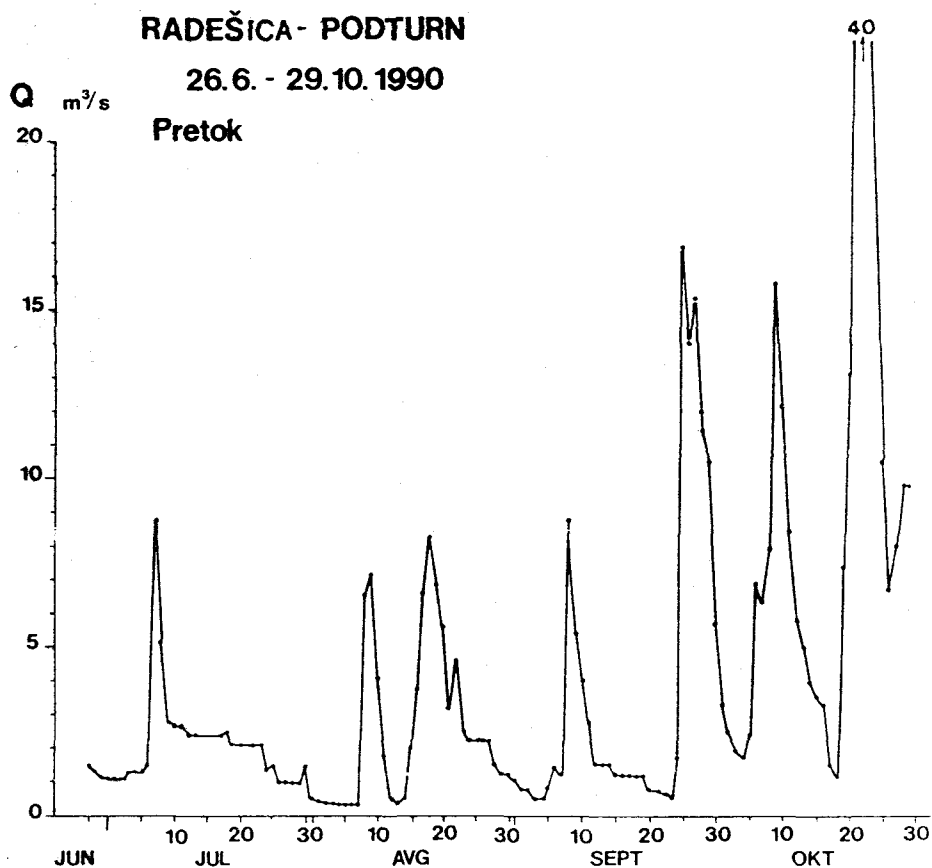
TABELA 3. Pregled vsebnosti nitratov, kloridov, o-fosfatov in sulfatov v ponikalnicah in izviri ob sledenju 1990

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

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

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

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



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

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

Specifična električna prevodnost

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

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

TABELA 5: Specifična električna prevodnost izvirov v jeseni 1991 v μScm^{-1}

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

Karbonatna in celokupna trdota

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

TABELA 6: Primerjava karbonatne in celokupne trdote

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

*) vzorci so bili vzeti po dolgem sušnem obdobju

Primerjava kalcijeve in magnezijeve trdote

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

TABELA 7: Kalcijeve in magnezijeve trdote

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

Primerajva kloridov, nitratov, fosfatov in sulfatov

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

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

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

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

Primerjava Ušivca in Metličice ter Ponikev

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

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

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

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

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

SLEDENJE V ROŽNEM DOLU IN BAJERJU LETA 1990

Barvanje ponikalnice v Rožnem Dolu z eozinom

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

Sledenje požiralnika v Bajerju s fagi

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

Sledovi eozina v Krupi

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

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

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

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

Sledovi eozina v Sušici

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

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

SLEDENJE NA GORJANCIH IN V MALINSKI DRAGI LETA 1991

Barvanje ponikalnice v Ponikvah na Gorjancih

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

Ponikalnica Reka se izgublja v več požiralnikih v višini okrog 690 m. Njeno povodje meri 0.87 km², dolgo je 1,8 in široko največ 1 km. Razvodna slemena segajo v višine med 800 in 900m. Široka dolina se nad požiralniki nadaljuje z nizom vrtač, ki so poglobljene v dno viseče suhe doline. Ta je usmerjena proti severozahodu in je odrezana s strmo severno rebrijo v povirju Klampferja. Površinske vode iz manjprepustnih zgornjekrednih plasti z vložki roženca in laporja izginjajo v bolj zakrasele jurske apnenice v podlagi. Jurske kamnine grade pretežni del vzhodnega zaledja Krupe, v smeri proti Težki vodi na severu in proti Metliškem Obrhu so na površju obdani z manjprepustnim triasnim dolomitom. Po razpoložljivih geoloških podatkih smo pričakovali, da je vsaj del voda Reke usmerjen v okrog 13 km oddaljeno Krupo. Glede na razdaljo, majhen pretok ponikalnice (0.1–10 l/s) in precejšnjo izdatnost Krupe (500 – 15.000 l/s) smo se odločili, da obarvamo Reko z najmanj 15 kg uranina.

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

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

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

Barvanje v Malinski dragi

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

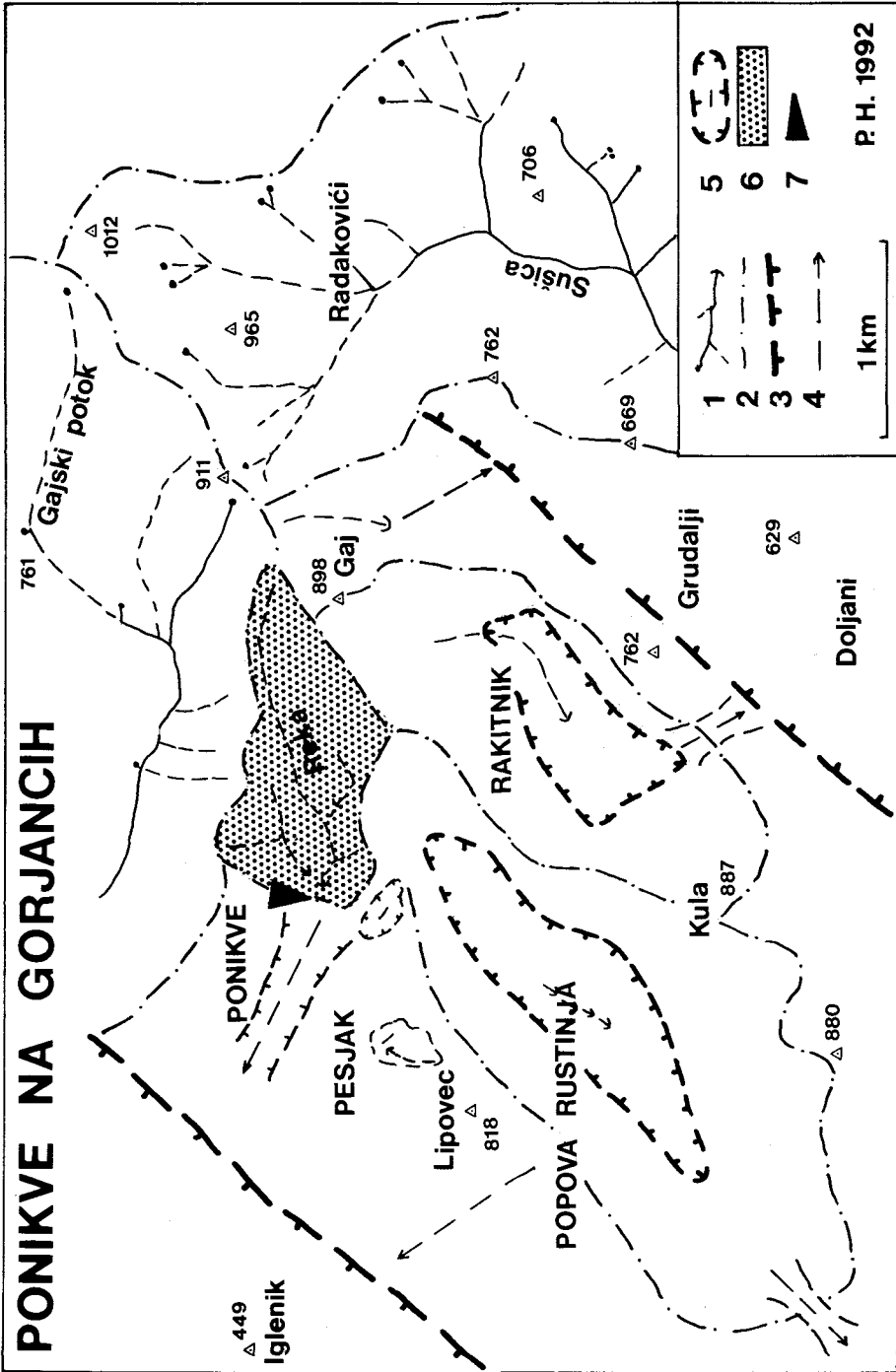
Ker tudi v ožjem zaledju Krupe v okolici Semiča in nad njim nismo našli primerne lokacije za vlitje sledila, smo se odločili za poskusno sledenje z zalivanjem v območju geomorfološko in geološko izrazite in razmeroma lahko dostopne Malinske drage. V njenem vzhodnem delu smo za poskus izbrali večjo lijakasto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

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

Opazovanje in vzorčevanje izvirov

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

slika 8



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

Analize vzorcev na fluorescentna sledila

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

TABELA 10: Število analiziranih vzorcev

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

Rezultati sledenja Ponikev z uraninom

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

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

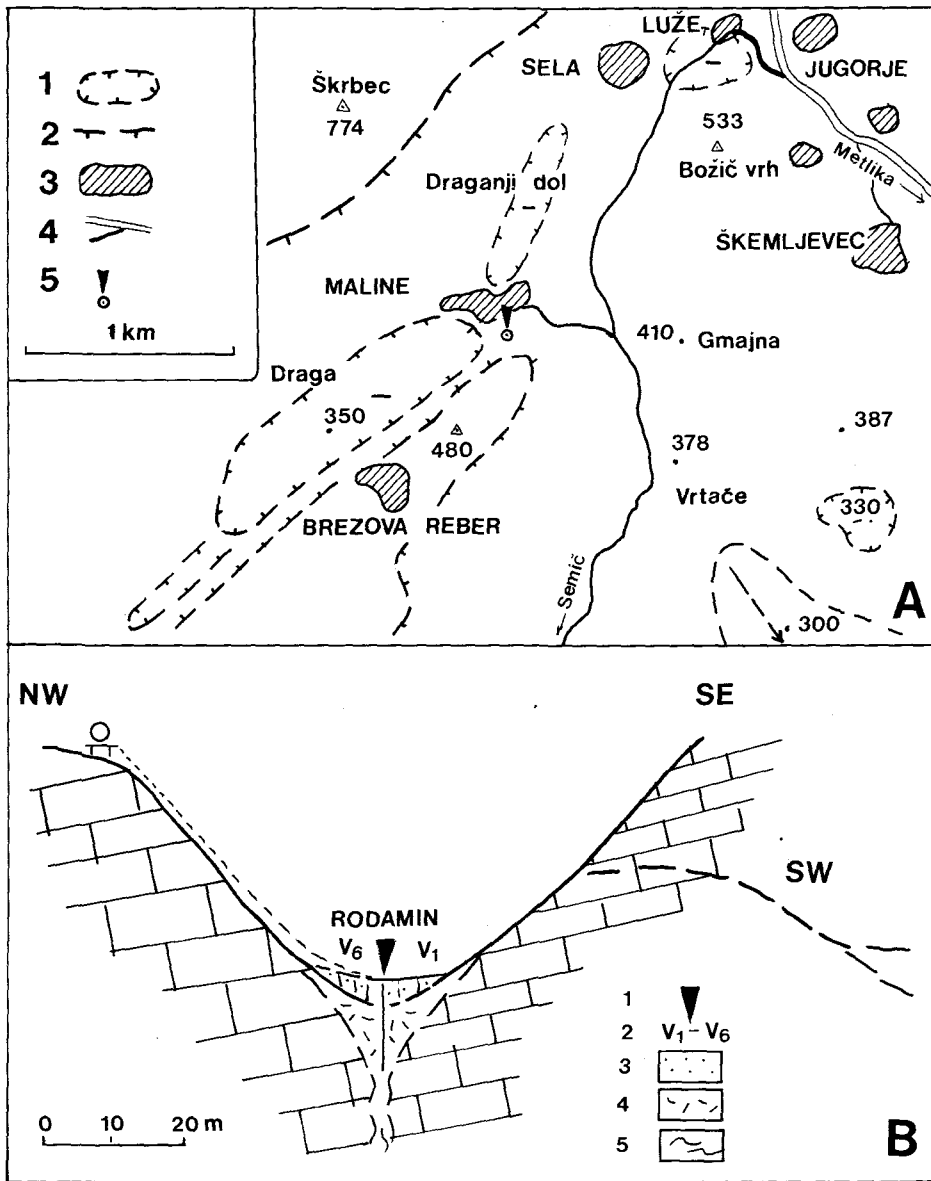
V Krupi je znašala najvišja koncentracija komaj $0,025 \text{ mg/m}^3$ uranina v valu, ki je trajal le 10 dni, nato pa se je barva razredčila pod mejo določljivosti. V Krupi je bila torej koncentracija uranina več kot 400 krat manjša kot v Težki vodi. V primeru premajhne količine uporabljenega sledila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

Slika 8. Položaj Ponikev na Gorjancih

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

Fig. 8. Situation of Ponikve on Gorjanci

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



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

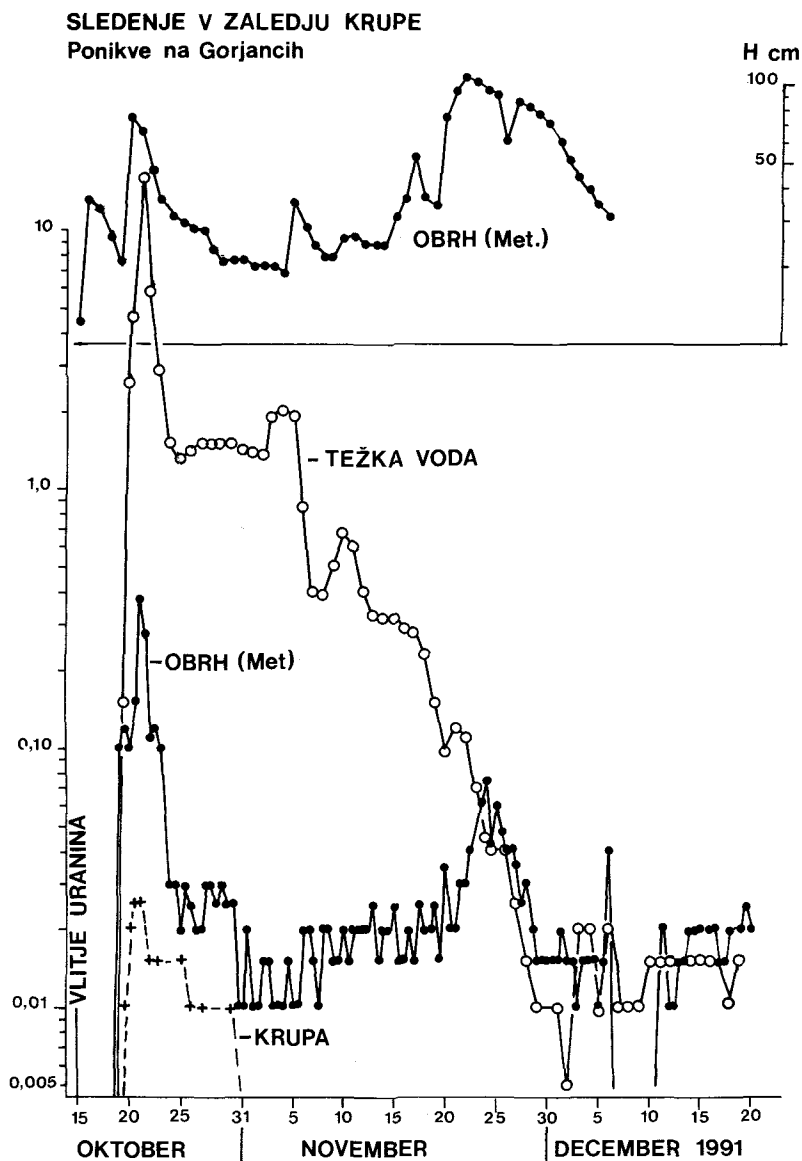
A - 1) uvala, 2) rob kraške planote, 3) naselje, 4) cesta, 5) kraj vlitja rodamina.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

Rezultati sledenja v Malinski dragi z rodaminom

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

Odtekanje podzemne vode iz območja Malinske drage proti Obrhu je vsaj trikrat počasnejše kot iz Ponikev na Gorjancih. V prvem primeru znaša navidezna hitrost 0.3, v drugem 1,5 cm/s. Rodamin se je pojavil tudi v Krupi z značilnim valom po 600 urah, 18.11.ob 7 uri, v koncentraciji 6.00 mg/m^3 in s hitrostjo 0,3 cm/s. Nižje koncentracije rodamina so bile sicer zabeležene že prej, celo pred vlitjem rodamina, zato niso zanesljive. Možno je, da izvirajo še od prej-

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

TABELA 11: Primerjava navideznih hitrosti voda

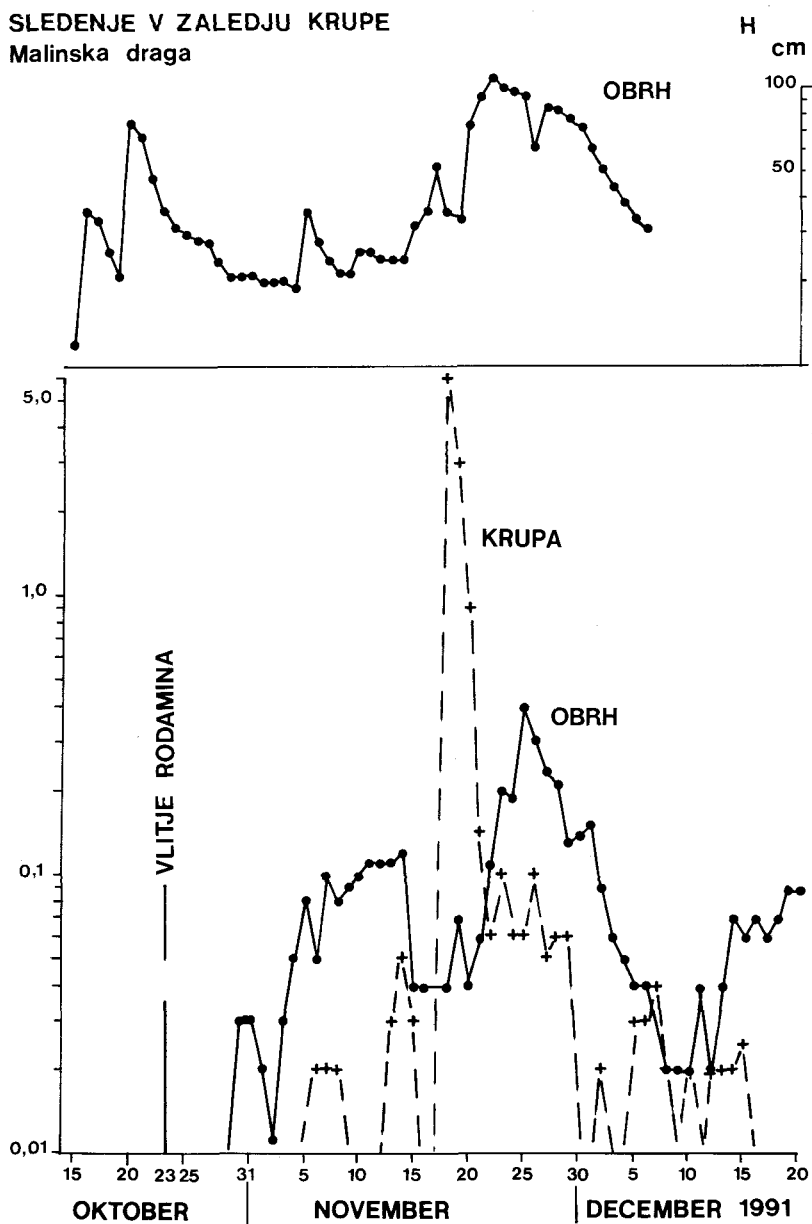
Ponor / Izvir	datum	sledilo	razd. km	čas h	hitrost cm/s
Vrčice-Krupa	10. 5.1989	fagi	6	72	2.3 *)
Mirn.g-Krupa	10. 5.1989	uranin	10.5	816	0.3 *)
Rož.Dol-Krupa	27. 6.1990	cozin	8	355	0.6 +)
Rož.Dol-Sušica	27. 6.1990	cozin	6	720	0.2 +)
Bajer-Krupa	15.10.1990	fagi	6	42	3.9 ^)
Reka -Krupa	15.10.1991	uranin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

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

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

POSKUSNA OMEJITEV ZALEDJJA KRUPJE

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



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

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

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

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

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

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

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

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

SKLEP

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

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

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

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

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

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

VIRI IN LITERATURA

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

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

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

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

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

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

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

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