

HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI POVODJA BELE
PRI VRHNIKI IN PROBLEMI IZRABE KRAŠKIH
VODA ZA OSKRBO

(S 13 SLIKAMI)

DIE HYDROGEOLOGISCHEN EIGENHEITEN DES EINZUGSGEBIETS DER
BELA BEI VRHNIKA UND DAS PROBLEM DER AUSNUTZUNG VON
KARSTWÄSSERN FÜR DIE WASSERVERSORGUNG

(MIT 13 ABBILDUNGEN)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975

VSEBINA

Izvleček — Abstract	218
Uvod	219
Hidrogeološke značilnosti doline Bele	220
Hribski potok	227
Primcov in Bečkajev studenec	233
Barvanje potoka v Koritih	235
Hidrogeološke značilnosti ožjega zaledja Primcovega studenca	237
Vodna zveza med Hribskim potokom in Primcovim studencem	245
Pregled važnejših hidrogeoloških ugotovitev	249
Nekateri problemi izrabe vodnih virov za oskrbo	251
Die hydrogeologischen Eigenheiten des Einzugsgebiets der Bela bei Vrhnika und das Problem der Ausnutzung von Karstwässern für die Wasserversorgung (Zusammenfassung)	254
Literatura in viri	255

Izvlaček

UDK 551.444:628.112 (497.12-14)

Habič, Peter: Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniki in problemi izrabe kraških voda za oskrbo. Acta carsologica 7, 215—256, Ljubljana, lit. 30.

Preučeni so kraški izviri v dolomitih in apnencih v dolini Bele pri Vrhniki. Izviri v dolomitu imajo dobro vodo, vendar so ob nizkih vodah prešibki. Izdaten kraški izvir sredi naselja je vedno bolj onesnažen in brez čiščenja ni uporaben. Preučene so možnosti za zajetje vode v nenaseljenem krasu pred izvirom. Z urbanizacijo kraških predelov se stopnjuje vprašanje, kako varovati zaledje izvirov in kako zagotoviti čiščenje kraške vode za pitje.

Abstract

UDC 551.444:628.112 (497.12-14)

Habič, Peter: Hydrogeological Characteristics of the Bela River Basin and the Problems of Karst Water Supply. Acta carsologica 7, 215—256, Ljubljana, Lit. 30.

The karst sources in dolomites and limestones in the valley of the Bela stream near Vrhnika are studied. The sources in dolomites have good waters, but they are at low waters too feeble. The abundant karst source in the centre of the settlement is more and more polluted and useless without purifying. The possibilities for water catchment uninhabited karst before the source are studied. By the karst region urbanization the question how to protect the hinterland of sources and how to assure the purifying of karst water for drinking increases.

Naslov — Address:

dr. Peter Habič
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Uvod

Kras je s svojim vodnim bogastvom lahko dragocen vir za oskrbo naselij s pitno vodo. Kraška voda nadomešča podtalnico v prodnih in peščenih naplavinah, arteško vodo v posebnih geoloških razmerah in razne umetne zadrževalnike površinskih voda. Nekatere naravne posebnosti ovirajo izrabo kraške vode za oskrbo, druge pa jo pospešujejo. V naslednjem bomo obravnavali probleme izkoriščanja vode v izvirnem območju krasa, ne pa onih v ponornih predelih ali sredi kraškega površja.

Dokler je poraba vode še razmeroma majhna, se mnoga naselja na krasu in na njegovem obrobju lahko oskrbujejo iz raznih studencev in vodnjakov. Najbolj primerni za vodno oskrbo so precej stalni izviri v dolomitu; v ugodnih legah lahko celo gravitacijsko napajajo vodovodno omrežje. Z naraščanjem potreb pa postajajo vedno bolj zanimivi tudi večji kraški izviri, kjer pa teh ni, je treba izrabiti vodno bogastvo kraškega podzemlja. Uspešna izraba kraških voda je zelo odvisna od poznavanja hidrogeoloških značilnosti krasa, izdatnosti in režima podzemeljskih voda. Z naraščanjem potreb se izboljšujejo metode za odkrivanje in zajemanje vode v krasu, pa tudi za oplemenitenje režima ter kvalitete vode.

Ob zahodnem obrobju Ljubljanskega barja je vrsta izdatnih in stalnih kraških izvirov Ljubljanice, vključno pa primanjkuje zdrave pitne vode za oskrbo Vrhnike in bližnjih naselij. Vzrokov za takšno neskladje je več in jih bomo na kratko predstavili. Tu se srečujemo z značilnimi vodnimi problemi krasa in hkrati z omejenimi možnostmi izrabe bogatih kraških voda za oskrbo naselij.

Kraški izviri Ljubljanice dobivajo vodo iz obsežnega naseljenega in prometno zelo izpostavljenega kraškega zaledja, zato so te vode že precej onesnažene in brez posebnega čiščenja niso primerne za pitje (M. Z u p a n 1974). Sedanja oskrba Vrhnike z vodo je navezana na tri manjše kraške izvire, od katerih sta dva v dolomitu, tretji pa v apnencu. Največ vode črpajo iz slednjega, to je iz Primcovega studenca, medtem ko dolomitna izvira Lintvern in Staje gravitacijsko prispevata manj vode. Slednja dva izvira imata sicer dobro pitno vodo, vendar premalo, Primcov studenec je dovolj močan, ima pa bakteriološko okuženo vodo in se po močnem deževju tudi precej kali. Izvir in zajetje sta že sredi naselja, ki se naglo razvija, zato številnih virov onesnaževanja v neposrednem zaledju ni mogoče odpraviti. V zadnjih letih se je z razraščanjem naselja nad izvirov kvaliteta vode znatno poslabšala in zgodilo se je že, da je gnojnica tekla po vodovodnih ceveh; zaradi vode je bila na Vrhniki leta 1971 tudi epidemija hepatitisa (S. O p a č i č & D. M a r k i ć 1974).

Glede na celo vrsto nevšečnosti postaja vedno bolj jasno, da sedanje zajetje pri Primcu ni več primerno za oskrbo Vrhnike in sosednjih naselij. Dokler pa ne bo zgrajeno novo zajetje s čistilnimi napravami, je treba obstoječi vodni vir v največji možni meri varovati pred onesnaženjem.

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU je leta 1968 po naročilu Komunalnega podjetja iz Vrhnike podrobneje preučil izdatnost in kvaliteto Primcovega studenca in skušal ugotoviti položaj in obseg njegovega zaledja. Pri teh raziskavah se je pokazala tudi potreba po preučitvi širšega kraškega zaledja Hribskega potoka in porečja Bele, ker so vse vode med seboj povezane.

Nobeden od obravnavanih izvirov dotlej ni bil zajet v redni opazovalni mreži Hidrometeorološkega zavoda SRS. Hribski potok in Primcov studenec so začeli redno opazovati šele l. 1973, zato sta izdatnost in kvaliteta približno ugotovljena z občasnimi merjenji in opazovanji. Posebej je bil merjen in opazovan pretok Lintverna, ki je tipična zaganjalka in bruha vodo v neenakih presledkih. Rezultati raziskav tega intermitentnega kraškega izvira so že objavljeni (P. H a b i č 1970). V povodju Bele je bilo izvedenih več barvanj. Dokazana je zveza Bele s Hribskim potokom ter potoka v Koritih pod Planino s Primcovim in Bečkajevim studencem. Ugotovljena je tudi podzemeljska zveza Majerjevega in Hribskega potoka. Podrobneje je bila preučena geološka zgradba (R. G o s p o d a r i č 1968) ter morfološke in speleološke značilnosti kraškega zaledja izvirov. Z ročnimi vrtinami je bila v vrtačah neposredno nad Primcovim studencem dosežena kraška voda in nato opazovano nihanje njene gladine. Geološki zavod iz Ljubljane je izvrtal tri strojne vrtine, globoke od 10 do 12 m, in izvedel dvoje poskusnih črpanj. S temi raziskavami in z obdelavo podatkov je dopolnjeno znanje o hidroloških značilnostih preučevanih izvirov. Tretja naloga je obsegala določitev najugodnejšega mesta za novo zajetje v primerni oddaljenosti od naseljenega območja. Žal so metode za odkrivanje vodnih žil v krasu še zelo nepopolne, zato te naloge ni bilo mogoče v celoti izpolniti. Praktično je še vedno lažje zajeti vodo kraškega izvira, kot iskati glavno žilo v njegovem zaledju. Vkljub temu je bilo na podlagi geoloških in hidroloških raziskav, vrtanj in poskusnega črpanja opredeljeno najugodnejše območje za zajetje kraških voda izven naseljenih predelov. Zaradi pomanjkanja sredstev program nadaljnjih raziskav in predvsem poskusnih črpanj ni bil izveden.

Hidrogeološke značilnosti doline Bele

Zahodno obrobje Ljubljanskega barja je med Borovniško in Podlipsko dolino reliefno razmeroma malo razčlenjeno. Edino ob izvirih Ljubljanice pri Vrhniki sega barska ravnina globlje v obod s trojnim zatrepom. Južna dva kraka tega zatrepa, Retovje in Močilnik, se končata s strmimi prepadnimi stenami, pod katerimi so izviri Velike in Male Ljubljanice. Tretji, širši krak, imenovan tudi Klis, ob katerem so izviri Hribskega potoka ter Primcovega in Bečkajevga studenca, se zahodno od Vrhnike nadaljuje v dolino Bele. Ta je v spodnjem delu še razmeroma prostorna in vanjo se vedno bolj razrašča del Vrhnike, navzgor pa se dolina zoži in preide v ozko sotesko, kjer je ob potoku komaj prostora za gozdno pot. Dolina Bele je dolga le dobrih 5 km in precej položna, saj se povzpne s Klisa do povirnih grap le za 100 m. Precej bolj strme so stranske

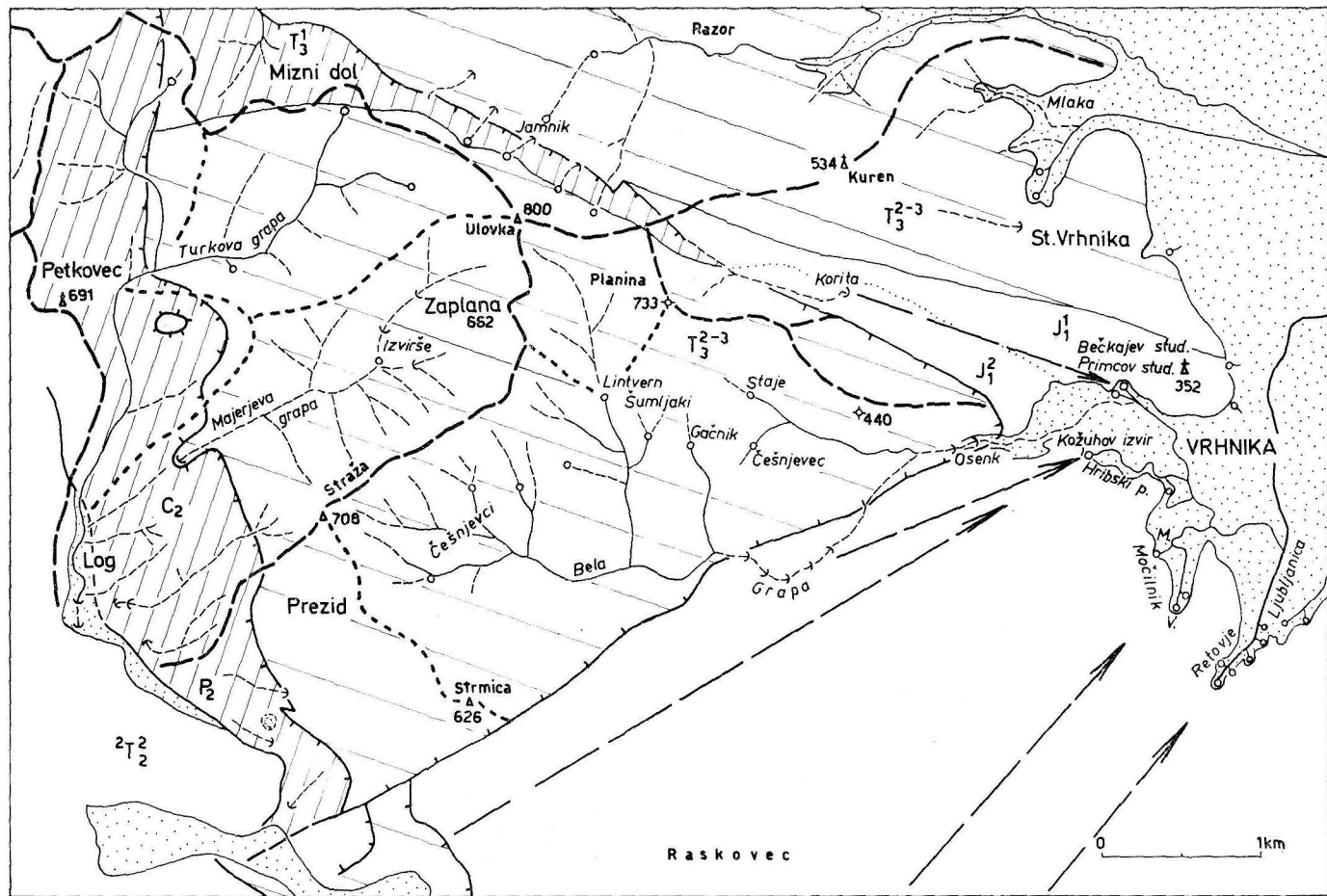
grape in sklepni del doline, ki sega iz višin okrog 400 m do razvodnih slemen v višinah med 600 in 800 m.

Oblika glavne doline in stranskih grap opozarja na precejšnjo mladost in intenzivno vrezovanje v starejše planotasto površje v višinah nad 500 m. Zgornji in srednji del doline je brez naplavin, te se pojavijo šele v spodnjem razširjenem prehodu v neposredno dno Barja pri Vrhniki. Tam je Bela nasula obsežen vršaj dolomitnega gruščja ter z njim zajezila kraške izvire Hribskega potoka in Primcovega studenca. Dolina Bele se je oblikovala vzporedno z razvojem mladopleistocenske tektonske kotline Ljubljanskega barja in hudourniške vode iz strmih dolomitnih bregov so z drobirjem zasipale nastajajočo depresijo (P. Habič 1973 a). V zgornjem in srednjem delu doline teče Bela pretežno po živoskalni podlagi, v spodnjem delu pa po lastnih naplavinah. Povirje Bele in vse njene stranske grape so zarezane v triasnem dolomitu zaplaninskega pokrova, osrednji del doline pa je izoblikovan ob stiku tega dolomita s krednimi apnenci, ki pripadajo vrhniško-cerkniški grudi (S. Buser 1965). Na apnenca zadene Bela v srednjem in znova v spodnjem delu doline, kar bistveno vpliva na njeno hidrološko značilnost (sl. 1).

Porečje Bele je vrezano ob stiku dveh tektonskih enot z različno litološko sestavo, zato je asimetrično, saj z desne apniške strani nima nobenega dotoka. Bela dobiva vodo le z leve strani, iz stranskih dolomitnih grap, ki so zarezane v južno pobočje Planine (733) in Ulovke (800). V grapah so razmeroma visoko v bregu razvrščeni značilni prelivni izviri, kot so Češnjevci, Jelovec, Lintvern, Šumljaki, Gačnik, Staje in drugi. Izviri so povečini majhne izdatnosti, od 0,5 do 5 l/s, so pa razmeroma stalni in imajo nekoliko več vode le krajši čas po izdatnejših padavinah. Ob deževju je njihov prispevek Beli, razen Lintverna in Staj, manjšega pomena, saj se več vode nateče s površja po grapah in dolini navzdol. Visoke vode Bele so cenjene na 2 do 3 m³/s, vendar priteče toliko vode do Vrhnike le ob največjih nalivih, sicer pa je Bela v spodnjem delu večinoma suha. Dobro tretjino visokih voda prispeva Lintvern, ki je nekaj dni po deževju stalen izvir, nato pa bruha vodo v vedno daljših presledkih. Leži v eni od stranskih grap, ki so zarezane v južno pobočje Planine. Voda izvira iz dolomitnega kraškega masiva v nadmorski višini 504 m, dobrih sto metrov nad dnom doline.

Lintvern je tipičen intermitentni kraški izvir ali zaganjalka in se odlikuje z izredno intenzivnostjo zaganjanja. Prvi ga je opisal L. Schönleben (1681), nato ga omenja J. V. Valvasor (1689), pozneje pa so pisali o njem še W. Putick (1903), J. Wester (1942), D. Novak (1967), D. Gavrilović (1967) in P. Habič (1970). Zaradi dobre vode in ugodne lege je bil leta 1937 zajet za vrhniški vodovod. Znatna razlika med nizkimi (3,5 l/s) in visokimi vodami (1000 l/s) kaže na izredno neuravnovešen režim. Kot zaganjalka deluje pri srednjih in nizkih vodah, ko je poprečni dotok v podzemeljski rezervoar manjši od 400 l/s, pri visokih vodah pa nekaj časa po dežju stalno teče. Izbruhi si nato sledijo v različnih presledkih od nekaj ur do 20 dni. V času med dvema izbruhoma se preliva iz podzemlja le okrog 10 l/s, maksimalni pretok ob normalnem izbruhu znaša okrog 400 l/s, ob visoki vodi pa lahko doseže tudi 1000 l/s (sl. 2).

Najnižji stalni izvir ob Beli je v Stajah pod Planino in podobno kot vsi drugi v tem predelu spada med prelivne dolomitne izvire, ima pa sorazmerno



1 ○ 2 → 3 - - - 4 - - - 5 - - - 6 - - - 7 - - - 8 [Q] 9 [K, J¹, T₂²] 10 [T₂²⁻³] 11 [C₂ P₂ T₂]

Sl. 1. Hidrogeološka skica povodja Bele, Hribskega potoka in Primcovega studenca. 1 izvir, 2 ponikalnica, 3 občasna ponikalnica, 4 razvodnica, 5 smer podzemljskega toka, dokazana zveza, 6 nariv, 7 litostratigrafska meja, 8 kvartarne naplavine, 9 kredni, jurski in triasni apnenci, dobro prepustne kamnine, 10 triasni dolomit, srednje prepustne kamnine, 11 permokarbonski in triasni skrilavci in peščenjaki, neprepustne kamnine

Abb. 1. Hydrogeologische Skizze des Einzugsgebietes der Bela, des Hribski potok und des Primcov studene. 1 Quelle, 2 Schwinde, 3 zeitweilige Schwinde, 4 Wasserscheide, 5 unterirdische Fließrichtung, nachgewiesene Wasserverbindung, 6 Überschiebung, 7 lithostratigraphische Grenze, 8 Quartäre Aufschüttung, 9 Kreide-, Jura- und Triaskalke — gut durchlässige Gesteine, 10 Triasdolomit — mitteldurchlässige Gesteine, 11 permokarbonsische Schiefer, Triasschiefer und Sand-



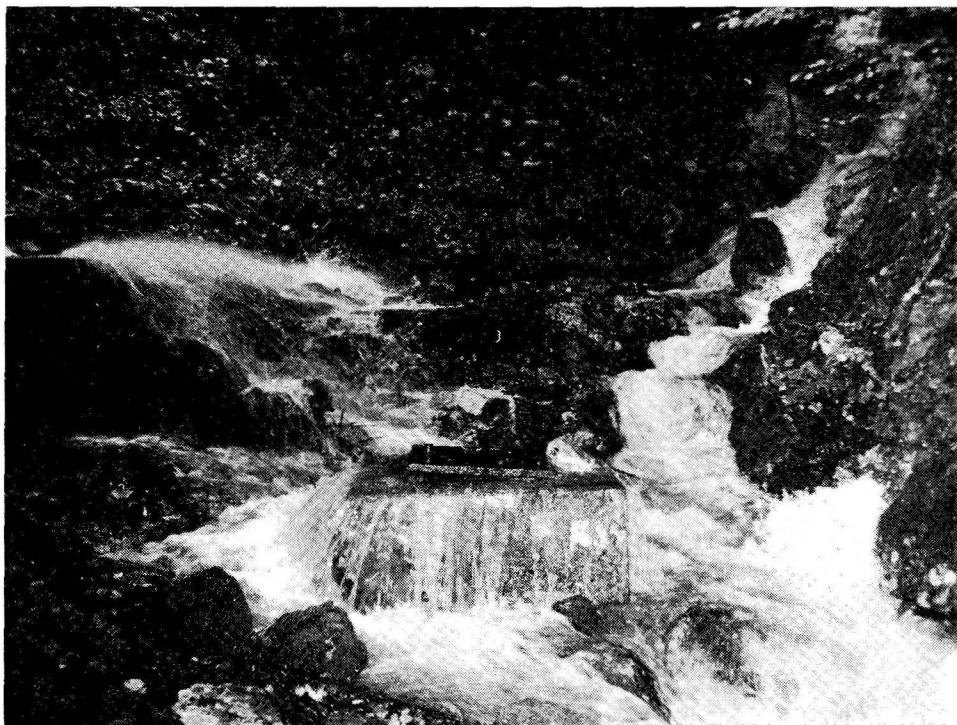
Sl. 2. Ob izviru Lintverna. Po nalivih deluje ta zaganjalka kot stalen izvir s pretokom do $1 \text{ m}^3/\text{sek}$

Abb. 2. An der Quelle des Lintvern. Nach Regengüssen betätigt sich diese intermittierende Quelle als ständige Quelle mit Durchflüssen bis zu $1 \text{ m}^3 \text{ sec}$.

najbolj umirjen režim. Voda v Stajah izvira med 404 in 406 m nadmorske višine in le po najmočnejšem deževju priteka še iz 30 m višje ležečega in 80 m oddaljenega izvira. Spodnji izvir je obzidan z okrog 4 m globokim jaškom, iz katerega je napeljan vodovod. Voda priteka iz majhne votline ob izrazitem prelomu v dolomitu. Ob visoki vodi niti vodovodne, niti prelivne cevi ne zmorejo celotnega dotoka, zato sili voda pod pritiskom izpod pokrova jaška (sl. 3). Izvir v

Stajah je po hidroloških in morfoloških značilnostih ter po legi tipičen kraški izvir v dolomitu. Minimalna izdatnost je ocenjena na 1,5 l/s. Leta 1968 je imel najnižji pretok dne 29. 10. in sicer 4 l/s, po izdatnem nalivu 22. 9. t. l. pa je znašal pretok okrog 250 l/s. Pretoki v Stajah so zaradi odmaknjene lege doslej le nekajkrat merjeni, občasna opazovanja pa kažejo, da je izvir po deževju še precej izdaten. Leta 1904 je bil zajet za oskrbo Vrhniko, žal pa so izrabljene le minimalne vode, vse druge se neizkoriščene prelivajo mimo zajetja. Temperatura vode niha med 8° in 10° C in je nekaj višja od temperature Lintverna. Obe vodi sta kemično zelo sorodni, saj pritekata iz skupnega dolomitnega zaledja.

Med Lintvernem in Stajami je na južnem pobočju Planine še več manjših stalnih ali občasnih izvirov. Pomembnejši so Šumljaki, Gačnik in Češnjevec. Po hidroloških značilnostih so podobni izviru v Stajah, le da so precej šibkejši, saj dajejo ob suši manj kot 1 l/s, ob visokih vodah pa največ 100 l/s. Podobni, vendar še nekoliko šibkejši so izviri v zahodnih povirnih grapah Bele pri Strmci. Vkljub stalnim izvirov v povirju ima Bela po dolini navzdol zelo nestalen tok. Ob suši izgubi že vso vodo v Grapi, to je v zoženem srednjem delu doline



Sl. 3. Izvir v Stajah ob visoki vodi. Dotok vode v zajetje je precej večji od kapacitete odtočne cevi

Abb. 3. Quelle Staje bei Hochwasser. Der Zufluß des Wassers zum Wasserwerk ist merklich stärker als die Kapazität des Abflußrohres

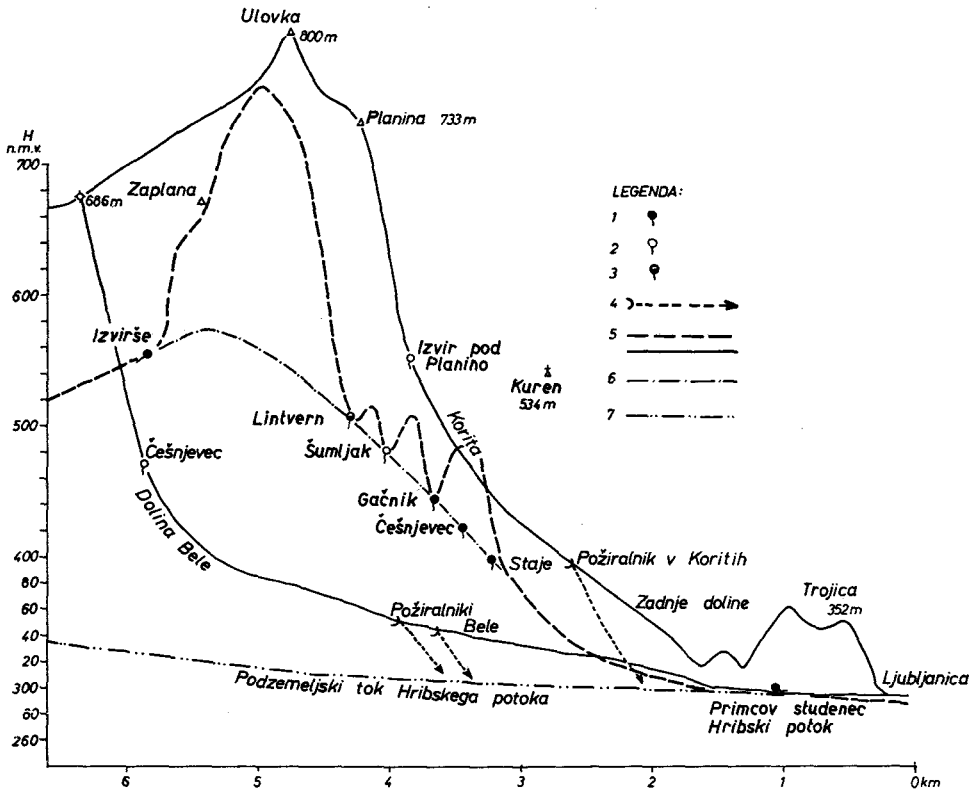
na krednih apnencih. Le nekoliko večje vode in občasni izbruhi Lintverna podaljšajo površinski tok po dolini navzdol do Osenka, kjer Bela znova zadene na apnenca in v njih ponikne. Kadar je v strugi več vode, kot jo zmorejo ti požiralniki, teče po apnencih mimo Osenka in ponikne nekaj sto metrov niže, ko priteče do lastnih gruščnatih in peščenih naplavin. Samo ob najvišji vodi teče Bela po strugi do sovodnji s Primcovim studencem, kar se lahko zgodi sicer večkrat na leto, traja pa nekaj ur ali največ teden dni.

Na podlagi geološke zgradbe (R. Gospodarič 1968; S. Buser 1965) in že znanih vodnih zvez v zaledju izvirov Ljubljani (A. Šerko 1946; I. Gams 1965) je bila postavljena domneva, da Bela zateka v izvire Hribskega potoka, del njenih voda pa morda tudi v Primcov in Bečkajev studenec. To domnevo smo želeli preveriti z barvanjem Bele v Grapi.

Za barvanje so bile ugodne vodne razmere dne 28. 5. 1968, ko je vsa Bela ponikala v Grapi. Opazovani so bili Hribski potok, Primcov studenec in Mali Močilnik, talne vode v naplavini spodnje Bele ni bilo mogoče zajemati. Sicer pa to tudi ni bilo potrebno, ker je vsa Bela ponikala v srednjem delu doline na apnencih. Bela je bila obarvana ob 14. uri s 3 kg fluoresceina, ko je imela v Grapi 10 l/s vode. Barva se je pojavila po 50 urah v Kožuhovem izviru Hribskega potoka, dne 30. 5. ob 16. uri. Najmočneje je bila voda obarvana dne 31. 5. ob 6. uri zjutraj, koncentracija barve pa je nato polagoma upadala in zadnjo sled je bilo mogoče zaznati še 1. 6. ob 16. uri. V dneh po barvanju Bele je padlo nekaj dežja, zato so vode v izviri narasle in tudi Bela je tekla dalje do Osenka, kjer se je končno izgubila v strugi. Dež ni motil samega poteka barvanja, temveč je le pospešil pretok vode po podzemlju in zaradi višjih voda se je barva nekoliko bolj razredčila. Povprečna hitrost podzemeljskega toka od Grape do izvirov Hribskega potoka pri Kožuhu je v razdalji 2000 m in pri 50 m višinske razlike (25 ‰) znašala 1,0 cm/s. Upoštevati pa moramo veliko nesorazmerje med količinami Bele v Grapi in izviri Hribskega potoka. V času barvanja so bili pretoki v razmerju 1 : 50, ko pa se je pojavila barva v izviri, je imel Hribski potok okrog 1000 l/s, razmerje pa se je povečalo na 1 : 100. Hitrost podzemeljskega toka Bele se ujema s hitrostjo, ki so jo ugotovili pri barvanju Petkovščiце in Rovtarice (A. Šerko 1946).

Z barvanjem je torej dokazano zatekanje Bele v podzemeljski tok, ki napaja izvire Hribskega potoka ter dobiva pretežni del vode iz območja Rovtarice in Petkovščiце. Prispevek Bele k tem vodam je razmeroma majhen, v Grapi ponikne največ 10—20 l/s. V spodnjem delu doline na apnencih pri Osenku do 100 l/s. Voda se izgublja tudi v strugi od Osenka navzdol, vendar tam ponikne že v dolomitni gruščnati naplavini, njena nadaljnja podzemeljska pot pa še ni znana.

Bela ima svojevrsten vodni režim, ki je značilen za dolomitne kraške predele, kjer del padavin ponikne in napaja niže ležeče izvire, del pa odteče po površju. Ker pa je pretežni del porečja Bele izoblikovan ob stiku dolomita in izdatno zakraselega apnenca, se v režimu površinskih voda še bolj uveljavlja kraški značaj. V takšnih razmerah ni mogoče podrobneje opredeliti vodnih razmer in ugotoviti prave velikosti hidrografskega zaledja. Še najlažje se približamo dejanskim razmeram, če upoštevamo morfološko površinsko razvodje in ga skušamo dopolniti s podzemeljskim na podlagi hidrogeoloških značilnosti.



Sl. 4. Sestavljeni vzdolžni prerez Hribskega potoka in Primcovega studenca. 1 stalni kraški izvir, 2 občasni izvir, 3 zaganjalka, 4 požiralnik in smer podzemeljskega toka, 5 prerez površja, 6 nivo kraške vode v dolomitu, 7 nivo kraške vode v apnencu

Abb. 4. Zusammengesetztes Längensprofil des Hinterlandes der Quellen Hribski potok und Primcov studenec. 1 ständige Karstquelle, 2 zeitweilige Quelle, 3 intermittierende Quelle, 4 Schluckloch und unterirdische Fließrichtung, 5 Oberflächenprofil, 6 Karstwasserniveau im Dolomit, 7 Karstwasserniveau im Kalk

Površinsko razvodje Bele poteka na levi dolomitni polovici porečja od Storževega griča (440) čez Planino (733) na Ulovko (800) in nato po slemenu do Straže (708 m) nad Prezidom. Razvodna slemena razen na Straži niso ostra, temveč zaobljena in v zakraslem dolomitu ponikne znaten del padavin. Na dolomitu v območju Strmice poniknejo vse padavine v podzemlje. Podobno velja tudi za osrednji najvišji hrbet zaplaninskega dolomitnega pokrova v predelu med Planino in Ulovko. Takšne hidrografske razmere so tudi onstran površinskega razvodja v območju Zaplane in Majerjeve grape. Očitno je torej, da se znaten del padavin v okolici Zaplane preceja globlje v zakraseli dolomit in napaja tudi kraške izvire v Beli, zato je izdatnost teh izvirov, predvsem Lintverna in Staj, nesorazmerna z velikostjo njihovega površinskega zaledja. Izvir v Stajah ima na primer le 0,45 km² površinskega zaledja na strmem jugo-

vzhodnem pobočju Planine med Blatnim dolom (460) in Storževim gričem (440). To področje je v celoti obraslo z listnatim drevjem in ni naseljeno, kar je zelo ugodno za režim in kvaliteto vode. Izdatnost izvira pa kaže, da se v Staje stekajo vode iz precej širšega zaledja, kot ga je mogoče opredeliti s površinskim razvodjem.

Pretakanje vode v dolomitu je v veliki meri odvisno od nagnjenosti skladov in sistema razpok. Skladi dolomitnega zaplaninskega pokrova so večinoma nagnjeni proti SW, večji prelomi pa potekajo v smeri sever—jug, pa tudi v dinarski smeri. Očitno je geološka zgradba ugodna za odtok podzemeljskih voda proti jugu v povirje Bele. Takšna usmerjenost odtoka je nedvomno omogočila tudi intenzivnejšo erozijo in poglobljanje doline Bele, še posebno, ker so se tudi površinske vode lahko odtekale neposredno k nižjemu Ljubljanskemu barju. Bistveno drugačne morfološke in hidrografske razmere pa zasledimo v tistem delu zaplaninskega dolomitnega pokrova, ki se vkljub zakraselosti še vedno v pretežni meri odceja v porečje Petkovščice in z njo šele posredno v kraške izvire ob robu Barja.

Na usmerjenost odtoka podzemeljskih voda iz zaplaninskega dolomitnega pokrova proti jugu kaže tudi zanimiva razporeditev izvirov v povirju Bele. V shematičnem podolžnem prerezu so prikazani glavni prelivni izviri (sl. 4). Najvišje leži Lintvern, potem pa si v smeri proti Stajam sledijo Šumljaki, Gačnik in Češnjevce. Vsi so pomaknjeni v srednji del zatrepnih stranskih grap, ki se zarezujejo v pobočje Planine.

Pri oceni letne izdatnosti Bele si pomagamo s količino padavin in približno omejitvijo zbirnega področja. V zaledju Lintverna in Staj pade povprečno na leto okrog 1800 mm padavin in če računamo, da vsaj polovico te vode odteče v izvire, potem bi za 2 km² zaledja znašal poprečni letni pretok 60 l/s. Pri popolnem izkoriščanju te vode bi se lahko Vrhnika v celoti oskrbovala s pitno vodo iz gravitacijskega vodovoda. Žal pa zakrasela dolina Bele vkljub ugodnim reliefnim razmeram zavira izgradnjo primerne akumulacijskega bazena za letno izravnavo vodnega režima.

Hribski potok

Pri Kožuhovem mlinu na zahodnem obrobju Vrhnike izvira Hribski potok v dveh le nekaj deset metrov oddaljenih izvirih. V nasprotju z izrazitimi zatrepnimi dolinami ob drugih izvirih Ljubljanice južno od Vrhnike (Močilnik, Retovje) je pri Kožuhovem izviru zatrep komaj opazen. Voda izvira ob vznožju strmega kraškega brega, ki ga obdajajo naplavine potoka Bele. Gladina v izvirih niha med 296,5 in 297,5 m nadmorske višine. Na nihanje pa vpliva razen pretoka tudi zapornica bližnjega mlina (sl. 5).

Izvir Hribskega potoka je po hidroloških lastnostih najbolj soroden Primcovemu studencu na nasprotni strani doline Bele. Po pretokih je precej močnejši, ob visoki vodi do desetkrat, ob nizkih pa komaj dvakrat; tudi kemične lastnosti vode so si v obeh izvirih zelo podobne. Bakteriološko so vode okužene že na območju glavnih ponikalnic v zaledju, to je v povodju Rovtarice in Petkovščice, ki napajata izvir Hribskega potoka. K zdravi pitni vodi pa tudi ne prispevajo odplake iz naselja Kurja vas ob cesti Vrhnika - Logatec, ki leži v neposrednem kraškem zaledju Kožuhovega izvira. Hribski potok je potemtakem



Sl. 5. Kožuhova zapornica pri izviru Hribskega potoka ob visoki vodi. Z njo so uravnavali dotok vode v bližnji mlin, hkrati pa spreminjali vodno gladino v kraškem zaledju, kar je vplivalo tudi na izdatnost Primcovega studenca

Abb. 5. Sperre Kožuhova zapornica an der Quelle des Hribski potok bei Hochwasser. Sie regulierte den Zufluß des Wassers zur nahe gelegenen Mühle, veränderte aber zugleich auch den Wasserspiegel des Karsthinterlandes, wodurch die Ergiebigkeit des Primcov studenec beeinflusst wurde

že sedaj precej izpostavljen onesnaževanju in bi morali vodo stalno čistiti, če bi jo hoteli uporabiti za oskrbo, potrebni pa bi bili tudi zaščitni ukrepi v širšem prispevnem območju.

Od vseh izvirov Ljubljance je Kožuhov izvir pomaknjen najbolj proti zahodu in vodna gladina je v njem vedno višja kot v drugih izviroh na kraškem obrobju Barja pri Vrhniki. Izvir se odlikuje tudi s sorazmerno majhnim nihanjem temperature v teku leta in pretoki so poleg Primcovega studenca tu najbolj ustaljeni. V starejših študijah je ocenjena minimalna izdatnost Kožuhovega izvira na 120 l/s, maksimalna pa na 12 m³/s (F. Jenko 1954). Leta 1968 so bile najnižje vode ob koncu oktobra, ko je imel Hribski potok okrog 400 l/s, najvišje pa v dneh 22. in 23. 9. in sicer 4,5 m³/s. Dne 7. 11. 1971 je imel po daljši suši Kožuhov izvir še 130 l/s pretoka. Ta vrednost se bistveno ne razlikuje od prej znanih minimalnih pretokov. Maksimalni pretok v Kožuhovem izviru pa posebej še ni merjen, temveč le skupno z vodami Bele in Primcovega ter Bečkajevega

studenca. Po naših meritvah znašajo ti pretoki ob najvišjih vodah okrog $4 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna izdatnost Kožuhovega izvira pa verjetno ni večja od $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Podrobnejše podatke o vodnih razmerah Hribskega potoka pa bo mogoče dobiti le na podlagi rednih opazovanj in meritev.

Dosedanje meritve temperature in trdote Kožuhovega izvira kažejo na razmeroma ustaljen režim, kar je verjetno odraz počasnega pretakanja voda skozi kraško podzemlje, tako da se med potjo temperatura ponikalnic izenači s temperaturo kraškega podzemlja. Po opazovanjih F. H a b e t a (1936) je to izravnavanje pri Kožuhovem izviru in Primcovem studencu precej izdatnejše kot pri drugih izvirih Ljubljaniče, kjer so amplitude v teku leta večje (primerjaj I. G a m s 1966, 36). V naslednji tabeli so prikazani podatki o temperaturi in trdoti vode v različnih letnih obdobjih.

Hribski potok

Datum	Trdote v °nT					
	°C	K	Cel.	Ca	Mg	Nk
10. 10. 1964	10,8	11,1	11,9	7,0	3,9	0,8
6. 12. 1962	8,6	10,9	12,0	7,0	5,0	1,1
7. 1. 1963	9,0	7,4	8,5	5,4	3,1	1,1
28. 5. 1968	9,6	9,4	10,4	6,4	4,0	1,0
10. 6. 1968	9,8	9,4	10,3	7,4	2,9	0,9
23. 9. 1968	9,8	10,2	11,0	7,2	2,9	0,9
29. 10. 1968	9,8	11,3	12,3	7,4	4,9	1,0

Omejitev prispevnega območja Kožuhovega izvira ni enostavna. Kraški značaj izvira in zlasti njegova izdatnost je v očitnem nesorazmerju z območjem, ki bi ga po morfoloških kriterijih lahko prisodili k temu izviru. Z barvanjem je dokazano, da se v Hribski potok odtekata ponikalnici Rovtarica in Petkovščica (A. Š e r k o 1946). Pri številnih drugih barvanjih v porečju Ljubljaniče pa se barva ni nikoli pojavila v Hribskem potoku. Tako pri barvanju Logaščice (N. Č a d e ž 1952) kot tudi pri barvanju Hotenke (I. G a m s 1965) je ostal izvir Hribskega potoka neobarvan. Tudi pri barvanju voda na Cerkniskem in Planinskem polju se barva ni pojavila v Hribskem potoku, temveč le v drugih vzhodnejše ležečih izvirih Ljubljaniče. Vse to kaže, da ima Hribski potok samosvoje, od drugih izvirov Ljubljaniče ločeno kraško zaledje. Ker pa se vode Hribskega potoka in Ljubljaniče pretakajo v isti geološki zgradbeni enoti, vsaj med Logaškim poljem in obrobjem Barja, je skoraj težko verjeti, da kraški tokovi niso med seboj povezani. Jurski in kredni apnenci cerkniško-vrhniške grude so izdatno zakraseli, o tem priča tudi mešanje voda v zaledju izvirov od Bistre do

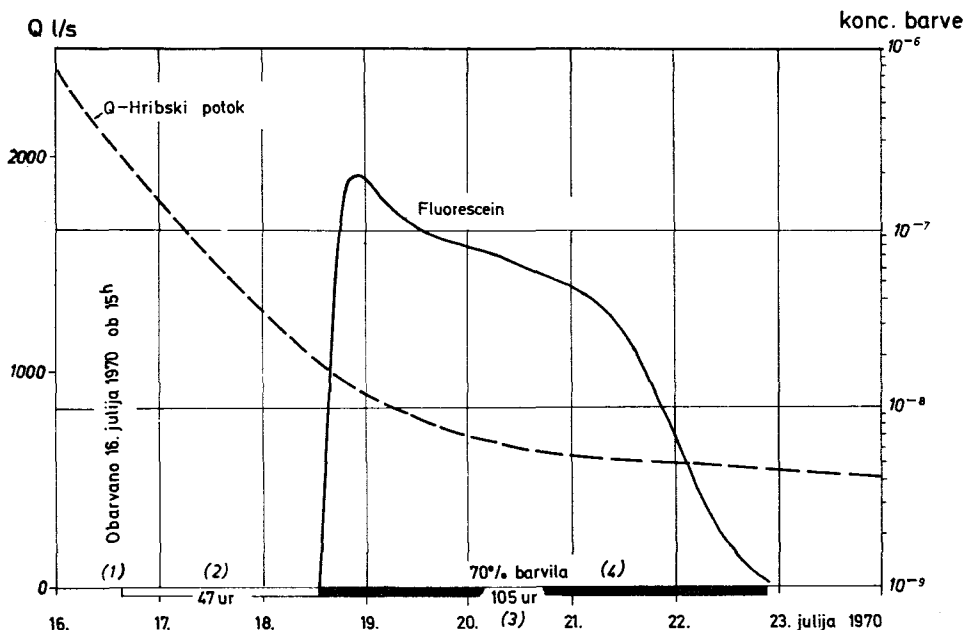
Močilnika (P. Habič, R. Gospodarič 1974). Zakaj pa bi bili samo podzemeljski kanali Hribsčice ločeni od drugih?

Barvanje ponikalnic v Rovtah in Petkovcu je bilo doslej izvedeno le enkrat in z razmeroma majhnimi količinami barvila, zato ni izključeno, da zaradi razredčenosti barve v sosednjih izvirih niso opazili. Predvidevamo namreč, da se vsaj del voda iz zaledja Hribskega potoka lahko odteka tudi v druge kraške izvire, ki leže niže. Verjetno se prav zaradi višinskih razlik vode iz niže ležečih kanalov med Logaškim, Planinskim in Cerkniškim poljem ter Ljubljanskim barjem ne morejo prelivati v kanale, ki napajajo izvir Hribskega potoka. Podobno enosmerno zvezo smo ugotovili tudi med Cerkniškim poljem in Rakovim Škocijanom (P. Habič 1973). Vsekakor bi bilo zelo koristno ugotoviti ali so kanali v zaledju Hribskega potoka povsem ločeni od drugih tokov podzemeljske Ljubljance in če je možna le enosmerna zveza s prelivanjem voda v zaledju Kožuhovega izvira v druge izvire Ljubljance. V primeru, da se v obratni smeri vode ne mešajo, obstaja namreč veliko več možnosti za uspešno zaščito prispevnega območja Hribskega potoka. V ta namen bi bila potrebna tudi podrobnejša razmejitev prispevnega območja podzemeljske Logašice in Hribsčice, saj nagel razvoj naselij in industrije na Logaškem polju vedno bolj ogroža še edini perspektivni vodni vir za oskrbo naselij v zahodnem predelu Ljubljanskega barja.

Po dosedanjih rezultatih barvanj ter po geološki zgradbi sodeč poteka razvodje med podzemeljsko Logašico in Hribskim potokom čez Raskovec (652) in preko severne polovice Logaškega polja, kjer se naveže na površinsko razvodje med Logašico ter Rovtarico. Z vidika zaščite je kritično območje prav na Logaškem polju. Prispevno območje Hribskega potoka lahko omejimo dalje s severnim in zahodnim razvodjem Rovtarice ter severnim in vzhodnim razvodjem Petkovščice. K povodju Hribskega potoka spada tudi nekdanji levi pritok Petkovščice, ki ponika v Majerjevi grapi pri Zaplani. Z barvanjem je dokazana njegova zveza s Hribskim potokom, ni pa izključeno, da se del voda iz zaplaninskega dolomitnega pokrova ne odteka tudi v Primcov studenec.

Majerjeva grapa je izoblikovana zahodno od Zaplane in se odpira v dolino Petkovščice. V spodnjem delu je poglobljena v karbonske in permske peščenjake in skrilačce, ki so narinjeni na dolomit zaplaninskega pokrova. Povirni dolomitni del Majerjeve grape je v okolici Zaplane zakrasel v tolikšni meri, da se v njem le redko pojavijo površinski potoki. Majhni studenci že po nekaj deset metrih poniknejo. Edino Izvirše pri Zaplani je večji izvir, ki ima po deževju do 500 l/s pretoka, ob suši pa se voda zadržuje le v izvirmi kotanji, ki je izoblikovana ob prelomu. V izrednih sušah se zniža gladina za več kot meter pod prelivni rob izvira. Ob višjih vodah teče potok do glavnega požiralnika, ki se je odprl v strugi ob stiku dolomita in nanj narinjenega skrilačca. V tem nenavadnem požiralniku ponika večina vode in le ob izrednih nalivih se prelije še naprej po strugi v Petkovščico. Zanimiva lega požiralnika na prehodu s prepustnega na neprepustno površje nas je mikala, da smo z barvanjem poskusili ugotoviti, kam odteka te vode. Za barvanje so bile ugodne razmere v drugi polovici julija 1970.

Dne 16. 7. smo ob 15. uri vlili 7 kg fluoresceina v požiralnik, ki je v nadmorski višini 520 m in je požiral okrog 70 l/s vode. Opazovali smo izvire Male Ljubljance, Hribskega potoka in Primcovega studenca. Barva se je pojavila po 47 urah, dne 18. 7. ob 14. uri, v izviru Hribskega potoka, ki je oddaljen v značni



Sl. 6. Barvni val v izviru Hribskega potoka ob barvanju požiralnika v Majerjevi grapi pri Zaplani

Abb. 6. Farbwellen in der Quelle des Hribski potok nach der Färbung des Schluckloches im Graben Majerjeva grapa bei Zaplana. 1 Zeit der Einspeisung 16. 7. 1970, 15,00, 2 Dauer des Farbdurchgangs bis zur Quelle 47 St., 3 Dauer der Wasserwelle in der Quelle 105 St., 4 Farbstoffmenge in der Quelle 70 %

črti 5,7 km in leži 220 m niže. Dne 18. 7. ob 23. uri ali po 54 urah je bila koncentracija barve največja, zadnje sled barve pa smo mogli ugotoviti še 22. 7. ob 18. uri. Izvir je bil obarvan skupno najmanj 100 ur, v tem času je odteklo okrog 70 % barve. V Primcovem studencu in Malem Močilniku barve nismo opazili. Srednja hitrost podzemeljskega toka je bila 2,2 cm/s pri 38 % strmcu. Pretok v izviru Hribskega potoka se je med obarvanjem zmanjšal od 2,4 m³/s, dne 16. 7., na 500 l/s, dne 23. 7. 1970; potok v Majerjevi grapi pa je že drugi dan po barvanju presahnil (sl. 6).

Rezultati barvanja v Majerjevi grapi potrjujejo pripadnost povodja Petkovščice Hribskemu potoku, celo tistih njenih voda, ki ponikajo na območju zaplaninskega dolomitnega pokrova. Nenavaden položaj požiralnika v Majerjevi grapi je pogojen z naravno zgradbo, poleg tega pa so bolj propustni apnenci verjetno blizu pod dolino, da se je lahko izoblikoval požiralnik ob stiku dolomita in skrilavcev. Na podlagi sedanjega poznavanja geološke zgradbe (R. Gosporič 1968) sklepamo, da odteka Majerjev potok neposredno skozi dolomit zaplaninskega pokrova v kredne apnenice v podlagi. Ti pripadajo vrhniško-cerčniški grudi in v njih je tudi izvir Hribskega potoka. Na območju Zaplane kot tudi v širšem idrijsko-žirovskem krovnem sistemu (J. Mlakar 1969) imamo opraviti z površinsko in podzemeljsko cirkulacijo.

Prispevno območje Hribskega potoka je tedaj sestavljeno iz več morfoloških in hidrogeoloških enot. Bližnje zaledje obsega jurske in kredne apnenice v predelu med Raskovcem in Strmico. Površje je kraško in vrtačasto ter obraslo z listnatim in iglastim gozdom. V tem predelu je več manjših brezen in jam korozijskega nastanka, zanimiva pa je tudi udornica Snežna dolina ob cesti Vrhnika - Logatec, nikjer pa ni mogoče priti globlje v podzemlje do vodnih tokov. Širše zaledje je geološko pestro zgrajeno in že na kratke razdalje, pa tudi v globino, se menjajo prepustne in neprepustne kamnine. Od geološke podlage je odvisno tudi oblikovanje reliefa ter razvoj površinske in podzemeljske vodne mreže. Na površju prevladuje sicer fluvialni relief, vendar je precej tudi kraških pojavov. Značilne so vrtače, rupe, požiralniki ter manjše slepe doline ob ponorih. V sušnem obdobju presahne znaten del površinskih voda in ker se tudi z južne polovice prispevnega območja padavine neposredno odteka v podzemeljske tokove, ni čudno, da ima Hribski potok znatno več vode kot obe ponikalnici Petkovščica in Rovtarica skupaj.

Zaledje Hribskega potoka s povodjem Rovtarice in Petkovščice ter s predpostavljeno podzemeljsko razmejitvijo od ostalega porečja Ljublanice med Raskovcem in Logaškim poljem obsega približno 30 km². V primerjavi s porečjem Bele in Primcovega studenca je trikrat večje in temu primerno veliki so tudi pretoki v Kožuhovem izviru. Upoštevati pa moramo hidrološko povezanost zaledja Hribskega potoka s porečjem Bele, kot je pokazalo barvanje, prav tako pa je treba računati s hidrološko zvezo med Hribskim potokom in Primcovim studencem, kar bomo še obravnavali.

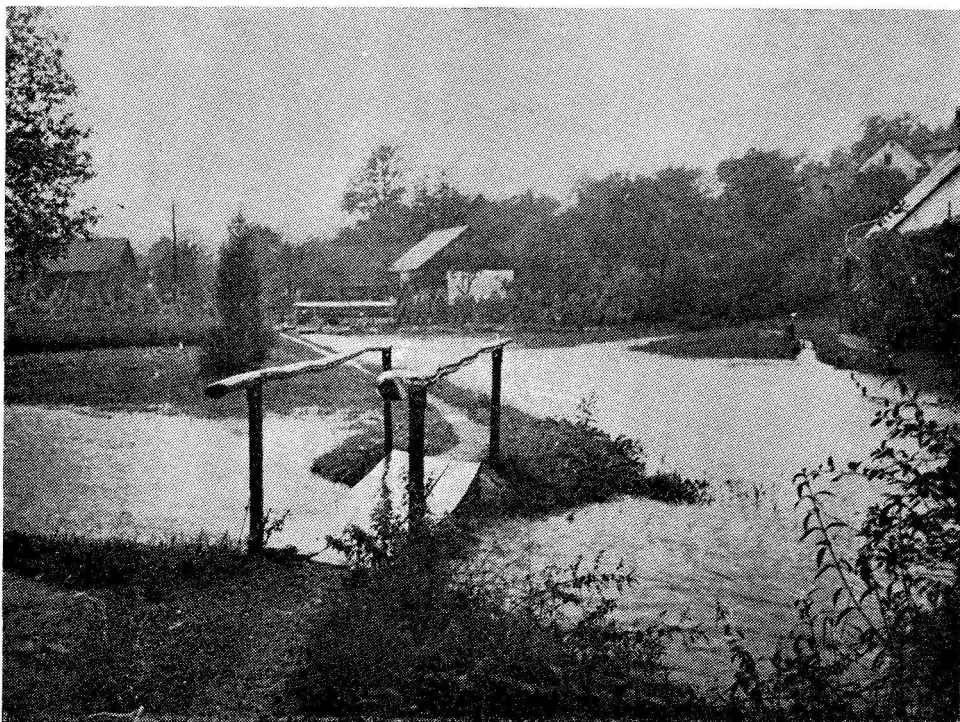
Pestra geološka zgradba je skupaj z značilnim reliefom omogočila večjo naselitev v okolici Zaplane, Petkovca in Rovt. V tem predelu prevladujejo samotne kmetije, le v Logu ter v Rovtah je več hiš skupaj. Doslej se v tem kmetijskem območju še ni uveljavila industrijska in druga obrtniška dejavnost, ki bi povečevala onesnaženje in okuženost vode. Razen lokalnih cest v širšem zaledju prečka neposredno kraško zaledje Hribskega potoka cesta Ljubljana - Postojna. Prav ta je najvažnejši potencialni vir onesnaženja podzemeljskih voda Hribskega potoka. Z razlitjem večjih količin nafte s ceste, bi bil izvir dalj časa neuporaben za vodno oskrbo. K sreči je nova avtocesta precej odmaknjena od neposrednega zaledja izvira in bo lahko prevzela ves promet naftnih derivatov in drugih škodljivih tekočin.

Bolj kot cesta pa že sedaj ogrožajo kvaliteto Hribske vode številne domačije v neposrednem zaledju izvira. Ob stari cesti proti Logatcu se je nad izviro razrastla Kurja vas. Sprva je štela le nekaj hiš, pretežno kmečkoga in polkmečkoga značaja. V zadnjem desetletju pa je zrastle tam več delavskih hiš in vse kaže, da se jim bodo kmalu pridružile še nove. Čeprav je v ožjem zaledju Kožuhovega izvira kras nekaj višji kot v naseljenem zaledju Primcovega studenca, so lahko posledice nepremišljene gradnje v tem predelu povsem enake kot pri Primcu. Odprta gnojišča, greznice in nekanaliziran odtok raznih odplak so že doslej močno onesnažili kras ob izviru Hribskega potoka, tako da brez zanesljivega čiščenja ni voda tam nič bolj uporabna kot voda Primcovega studenca. Ker pa se v Hribski potok steka še več površinskih voda in je zaledje tudi gosteje naseljeno, so vode še bolj izpostavljene nadaljnjemu onesnaževanju. Iz tega sledi, da razen na videz večje izdatnosti nima Hribski potok nobene prednosti pred Primcovim.

Primcov in Bečkajev studenec

Ob južnem vznožju Tičnice, ki jo dolina Bele loči od sklenjenega kraškega oboda Barja pri Vrhniki, sta dva manjša, vendar stalna kraška izvira. Drug od drugega sta oddaljena dobrih 50 m, vendar se po kvaliteti voda nekoliko razlikujeta. Po 100 m ločenega površinskega toka se izlivata v strugo Bele (sl. 7). Še najbolj pa sta podobna izviru Hribskega potoka, od drugih izvirov Ljubljane pa se razen po legi razlikujeta tudi po temperaturi, izdatnosti in režimu.

Za približno predstavo o značaju kraškega izvira so potrebni vsaj podatki o malih, srednjih in visokih vodah. Primcov in Bečkajev studenec nista bila vključena v redno opazovanje in merjenje, zato smo skušali spoznati jakost izvirov in njihov režim iz razpoložljivih podatkov in z občasnimi meritvami ter opazovanji. Ocene minimalne izdatnosti Primcovega in Bečkajevega studenca so doslej zelo različne. Ing. F. Hočev ar je ob suši v septembru 1946 nameril v Primcovem studencu 15 l/s, v Bečkajevem pa 20 l/s. Ing. F. Jenko (1954) je s poskusnim črpanjem ob suši leta 1949 prisodil obema izvirova za 5 l/s več vode. Po njegovih podatkih naj bi imel Primcov studenec okrog 20 l/s, Bečkajev pa



Sl. 7. Ob sovodnji Bele, Primcovega in Bečkajevega studenca po nalivu dne 22. 9. 1968
 Abb. 7. Zusammenfluß der Bela, des Primcov studenec und des Bečkajev studenec nach dem Struzregen am 22. 9. 1968

25 l/s ob skrajni suši, visokovodne pretoke v obeh izviri pa je cenil na 160 in 200 l/s.

Vkljub izdatni suši v poletju in zgodnji jeseni 1967 ni primanjkovalo vode v zajetju pri Primcu. Čeprav so stalno črpali 35 l/s, se je okrog 30 l/s še prelivalo iz zajetja v strugo. V letu 1968 ni bilo tako nizkih voda, zato se je vkljub suši v začetku poletja prelivalo iz obeh izvirov še okrog 40 l/s. V jesenski suši, ko ves oktober ni bilo dežja, pa je mimo zajetja odtekalo še 50 l/s vode. Tedaj smo opazili tudi zanimiv pojav, da se je izdatnost obeh izvirov občutno zmanjšala, ko so pri Kožuhovem izviru odprli zapornico in znižali gladino v izviru. Pretok pri Primcu je upadel skoraj za polovico, s tem je bila nakazana tudi posredna zveza med Hribskim potokom in Primcovim in Bečkajevim studencem.

Pretočne količine v Primcovem in Bečkajevem studencu so izredno ustaljene in razmeroma malo nihajo, kar je posebnost v primerjavi z drugimi kraškimi izviri pri Vrhniki. Čeprav nimamo na voljo dovolj podatkov o ekstremnih pretokih v posameznih izviri Ljubljanice, so že iz razpoložljivih podatkov vidne precejšnje razlike (K. Žibrik, A. Pečinič 1974). Medtem ko visoke vode v izviri Ljubljanice okrog 75-krat presegajo nizke, so v Primcovem in Bečkajevem studencu visoke vode močno pridušene in so v najboljšem primeru le 15-krat večje od nizkih. Ob izredno močnem nalivu, dne 22. 9. 1968, sta imela Primcov studenec 600 l/s, Bečkajev pa 400 l/s, oba izvira skupaj sta imela približno 1 m³ vode. Za primerjavo so v naslednji tabeli prikazani nekateri pretoki Primcovega in Bečkajevega studenca ter Hribskega potoka v letu 1968:

Datum	Primcov studenec l/s	Bečkajev studenec l/s	Hribski potok l/s
10. 5.	70	25	—
22. 5.	90	30	—
10. 6.	160	100	2500
18. 6.	120	80	1200
2. 7.	80	25	—
22. 9.	600	400	4500
23. 9.	200	130	4000
2. 10.	70	25	—
15. 10.	60	20	600
25. 10.	50	20	400
2. 11.	90	60	1700
16. 12.	60	20	600

Primcov in Bečkajev studenec se torej odlikujeta z razmeroma izravnanim režimom, imata sorazmerno veliko izdatnost ob suši in pridušene pretoke ob visokih vodah. Le po najhujših nalivih so pretoki nekoliko večji, ker pa naglo upadejo, jih pripisujemo le ožjemu zaledju. Tudi kalnost vode in neposreden odziv na močne padavine dokazujeta izdatnejši dotok iz bližnjega kraškega zaledja. Po maksimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za celotno kraško porečje Ljubljanice pri Vrhniki okrog 140 l/s/km^2 , bi pripadalo tema izviroma le 7 km^2 zaledja. Ob nizkih vodah bi se s tolikšnega površja nateklo le okrog 20 l/s vode, dejansko pa so nizke vode vsaj trikrat večje. Očitno je torej, da dobivata Primcov in Bečkajev studenec vodo iz obsežnejšega zaledja. Če ga ocenimo po minimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za porečje Ljubljanice 3 l/s/km^2 , pripada ob nizkih vodah Primcovemu in Bečkajevemu studencu skupaj najmanj 20 km^2 kraškega zaledja. Visoke vode se iz tega zaledja nedvomno odtekaše še v druge kraške izvire, lahko pa delno odtečejo tudi po površju, saj pripada verjetno znaten del porečja Bele kraškemu zaledju Primcovega studenca.

Položaja in obsega kraškega zaledja Primcovega in Bečkajevoga studenca ni mogoče natančno opredeliti. Po morfoloških značilnostih lahko omejimo le povodje hudourniškega potoka v Koritih pod Planino. Razen tega spada k neposrednemu zaledju še območje Betajnovе vzhodno od Storževega griča, kjer je v dolomitu izoblikovana viseča suha dolina in preide proti jugu v kraško površje Zadnjih dolin. V smeri proti Stari Vrhniki je zaledje mogoče opredeliti po geološki zgradbi, predvsem z mejo med jurskim apnencem in triasnim dolomitom. Manj propustni dolomit zajezuje odtok podzemeljskih voda proti vzhodu, zato je v obrobju Barja med Vrhniko in Staro Vrhniko le nekaj manjših dolomitnih studencev (sl. 1).

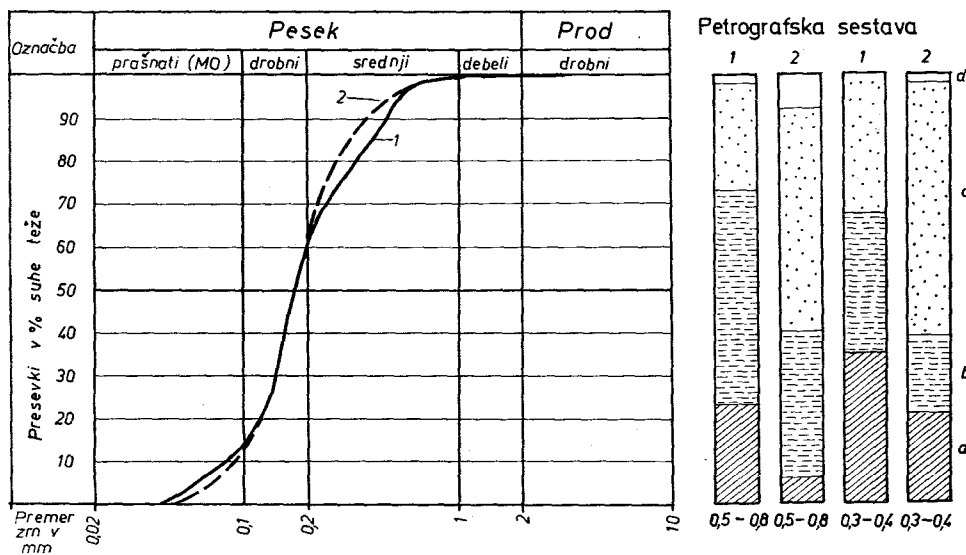
Po geološki zgradbi in reliefnih značilnostih lahko torej precej natančno opredelimo severno stran zaledja Primcovega in Bečkajevoga studenca. Neposredno zaledje severno od doline Bele obsega okrog 3 km^2 dolomitnega in apniškega krasa. Nejasna in skoraj neopredeljiva pa je meja na južni in zahodni strani. Po morfoloških potezah bi mejo lahko potegnili ob severnem delu vršaja Bele, vendar je s podrobnejšimi hidrogeološkimi raziskavami ugotovljena zveza med zaledjem Primcovega in Bečkajevoga studenca ter Hribskega potoka. Ti izviri imajo skupno zaledje, ki ga ni mogoče razmejiti.

Barvanje potoka v Koritih

V ožjem zaledju Primcovega studenca je zahodno od Stare Vrhnike vrezana ob narivu triasnega dolomita na jurske apnence strma dolina, imenovana Korita. Vanjo se občasno stekajo vode predvsem z dolomitnih zahodnih bregov, medtem ko je dotok z vzhodne apniške strani neznan. Struga je v pretežnem delu doline vrezana prav na meji med dolomitom in apnencem, le v spodnjem delu Korit se dolomitna pobočja nekoliko odmaknejo proti zahodu, zato je struga v celoti na apnencu. V tem delu doline so večje vrtače in rupe s požiralniki občasnega potoka. Struga v Koritih je ob suši brez vode in le nekaj dni po deževju teče potok do ponikev, ki so na prehodu Korit v bolj odprt svet Grntavcev in Zadnjih dolin nad Staro Vrhniko.

Po geološki zgradbi sodeč teče potok iz Korit v kraške izvire pri Primcu. Tudi hidrološka opazovanja so dopuščala takšno zvezo, ki smo jo želeli potrditi tudi z barvanjem. Izbrali smo bolj namočeno obdobje s primernimi vodnimi razmerami, ko je imel potok v Koritih 10 l/s vode in je ponikal v večjih spodnjih ponikvah. Dne 10. 6. 1968 smo okrog 11. ure dopoldne obarvali vodo s 3 kg fluoresceina. Opazovali smo Primcov in Bečkajev studenec ter Hribski potok. Barva se je pojavila naslednjega dne okrog 21. ure v Primcovem studencu, nekaj ur pozneje pa tudi v sosednjem Bečkajevem studencu. Najmočneje sta bila obarvana studenca naslednji dan 12. 6. ob 9. uri. Zadnje znake barve pa smo zasledili v izviru pri Primcu še 14. 6. ob 20. uri, medtem ko v Bečkajevem studencu barve že okrog 14. ure nismo več opazili. Za 1700 m zračne razdalje in 125 m višinske razlike ali pri 73 ‰ strmcu je potrebovala barva 34 ur, vrh barvnega vala pa 46 ur. Celotni barvni val se je raztegnil na 96 ur, kar več kot kot dvakrat presega čas, ki ga je potrebovala barva od ponikev do izvira.

Povprečna hitrost podzemeljskega toka ob srednje visoki vodi iz Korit do Primcovega studenca znaša okrog 1 cm/s, kar se presenetljivo ujema s hitrostjo vode v zaledju Hribskega potoka ob barvanju Bele. Upoštevati pa je treba različno hidrografske situacije, saj je bil obarvan potok v Koritih ob precej višjem vodnem stanju. Iz tega sledi, da so hitrosti podzemeljskega toka v zaledju Primcovega studenca nekoliko manjše kot v zaledju Hribskega potoka.



Sl. 8. Granulacijski diagram in petrografska sestava naplavin Hribskega potoka (1) in Bečkajevskega studenca (2), a) kremen, b) peščenjak, c) karbonati, d) organski ostanki
 Abb. 8. Granulationsdiagramm und petrographische Zusammensetzung der Anschwemmungen des Hribski potok und der Quelle Bečkajev studenec. 1 Hribski potok, 2 Bečkajev studenec, a) Kiesel, b) Sandstein, c) Karbonate, d) organische Reste

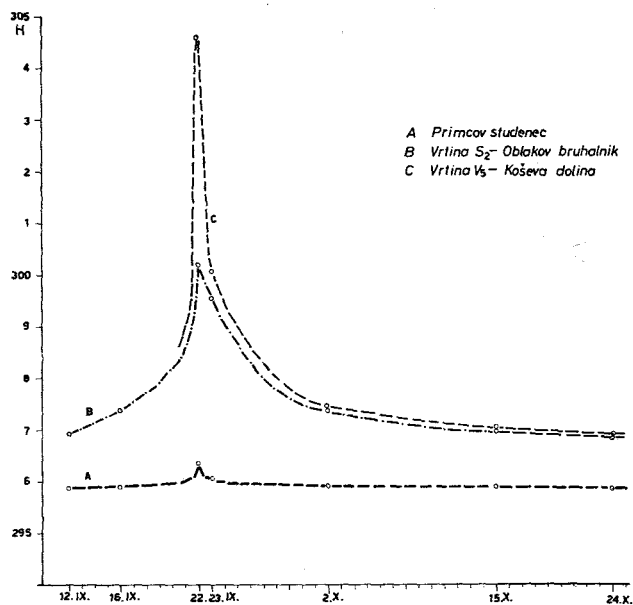
Posebej velja opozoriti tudi na razlike v obarvanju Primcovega in Bečkajevega studenca. Zakasnitev barvnega vala in predčasno razbarvanje v Bečkajevev studencu kaže na stransko vodno zvezo s Koriti. Različna obarvanost pa je obenem tudi dokaz o samostojnem toku v ločeni vodni žili. To značilnost potrjuje tudi izdatnejše kaljenje Bečkajevega studenca. Visoka voda naplavlja v Bečkajevev studencu poleg blata tudi droban pesek. Ta pesek se po petrografski sestavi nekoliko razlikuje od naplavine Hribskega potoka, in sicer po deležu karbonatov in po zaobljenosti posameznih zrn. Zaobljenost je večja pri Hribskem potoku; verjetno je posledica daljšega transporta. Granuloški krivulji sta si zelo podobni, le da ima pesek Hribskega potoka nekaj debelejših zrn, kar pripisujemo večji transportni moči vodnega toka (sl. 8).

Hidrogeološke značilnosti ožjega zaledja Primcovega studenca

Kraški izviri sredi naseljenega območja niso najbolj primerni za vodno oskrbo. Voda je sicer lahko dosegljiva, je pa precej slabše kvalitete, če je tik pred zajetjem izpostavljena onesnaževanju. Primcov studenc z zajetjem za oskrbo Vrhnike je lep primer takšnega vodnega vira. Negativne lastnosti že tako občutljivega kraškega izvira se stopnjujejo zaradi nekontroliranega širjenja naselja v ožjem območju zajetja. Ta predel bi moral biti v normalnih razmerah deležen še posebne zaščite. Onesnaženost vode v izviru je sicer razumljiva, ni pa opravičljiva. Nad zajetjem je namreč šele v zadnjem desetletju zrastle stanovanjsko naselje, ki je bilo sprva celo brez kanalizacije. Podobne razmere se ponavljajo tudi v zaledju Hribskega potoka, ki je sicer predviden za novo zajetje, njegovega kraškega zaledja pa še nihče ne varuje.

Nepotrebnemu čiščenju odpadnih voda iz ožjega zaledja bi se izognili, če bi zajeli kraško vodo v primerni oddaljenosti od naselja. Pri iskanju perspektivnega zajetja pa je treba upoštevati, da Vrhnika razmeroma hitro raste in da je zelo težko zavirati razvoj nekega kraja, pa čeprav za ceno pitne vode. Po sedanjih razmerah bi bilo treba odkriti in zajeti vodo v krasu vsaj dober kilometer v zaledju izvirov. Odkrivanje vodnih kanalov v krasu pa je še vedno precej zahtevna in draga zadeva. Ne poznamo še zanesljive metode za neposredno ugotavljanje in določanje položaja vodnega toka v kraškem podzemlju. Pomagati si je treba s podrobnimi hidrogeološkimi raziskavami ter s poskusnim vrtanjem in črpanjem.

Po legi in hidroloških značilnostih so za oskrbo Vrhnike bolj primerne vode Primcovega studenca, zato smo skušali najprej v zaledju tega izvira ugotoviti, kje bi bilo mogoče zajeti kraško vodo izven sedanjega naselja. Na voljo so bila le omejena sredstva, zato so bile hidrogeološke raziskave izvedene v manjšem obsegu. Za opazovanje nihanja kraške vode je bilo napravljenih le 12 ročnih in 3 strojne vrtine. Z ročnimi vrtinami v ilovnatih naplavinah je bila dosežena vodna gladina v večini izbranih vrtač. S strojno vrtino sta bili ugotovljeni debelina in sestava naplavin v dolini Bele, v skalnem kraškem obodu pa sta bili napravljeni 10 in 12 m globoki vrtini predvsem zaradi poskusnega črpanja in merjenja izdatnosti vodnih žil. V vseh vrtinah so bile merjene spremembe vodne gladine v poletju in jeseni 1968. Poleg poskusnega črpanja v zaledju



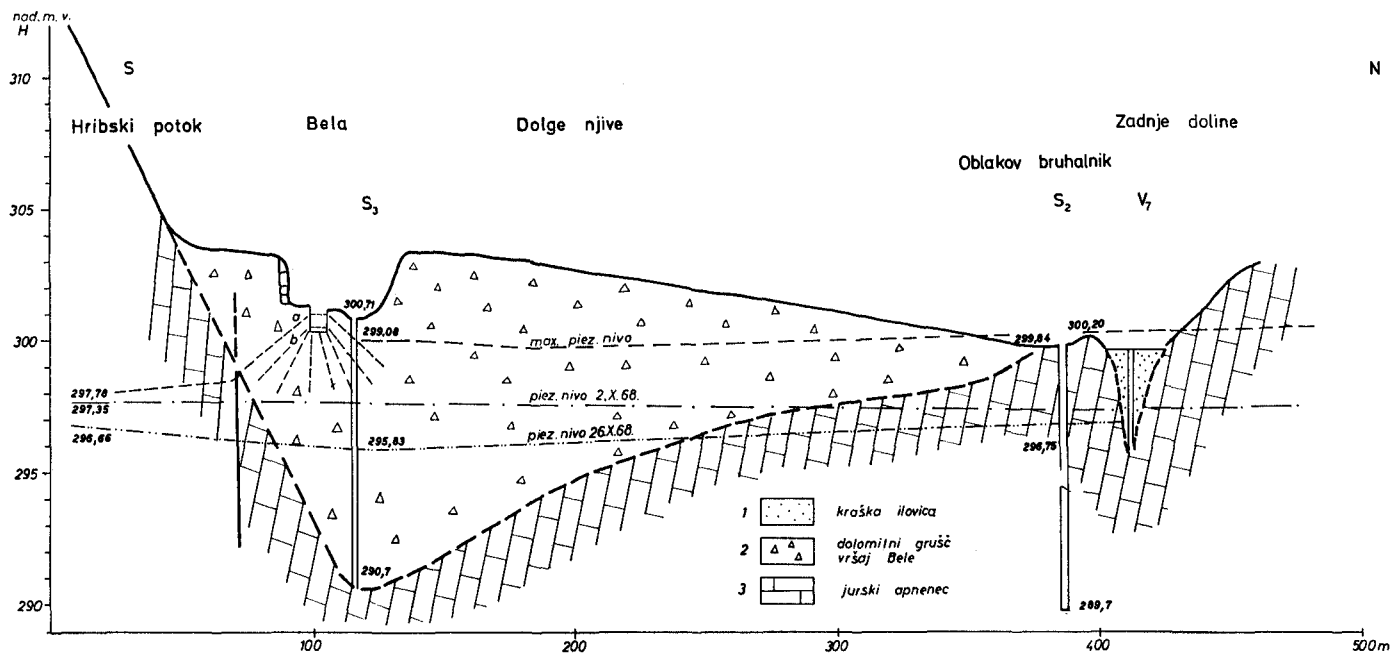
Sl. 9. Primerjava vodostajev v Primcovem studencu, Oblakovem bruhalniku in v Koševi dolini od 12. 9. do 24. 10. 1968

Abb. 9. Vergleichung der Wasserstände in der Quelle Primcov studenec, im Wasserspeier Oblakov bruhalnik und in der Koševa dolina vom 12. 9. bis zum 24. 10. 1968

Primcovega studenca pa je bil preučen tudi vpliv umetnega zajezevanja Hribskega potoka na podzemeljske vode in izdatnost Primcovega izvira.

Raziskave so bile usmerjene na razmeroma nizko vrtačasto površje Zadnjih dolin ob vzhodu Planine in Storževega griča (440) severno od doline Bele. V tem predelu sega nariv triasnega dolomita zaplaninskega pokrova najbolj proti vzhodu. Pod dolomitom leže zakraseli jurski apnenci, ki grade tudi območje Zadnjih dolin in bližnje zaledje izvirov pri Primcu. Kraško površje je v višini med 300 in 330 m, na njem prevladujejo ograjene travnate krčevine, ki jih vedno bolj zarašča grmovje in redko drevje. Njive so povečini le v vrtačah, kjer je debelejša plast zemlje. Na južni strani so Zadnje doline omejene z naplavinami Bele in prav ob robu teh naplavin je niz plitvih, zasutih vrtač. Po močnejšem deževju jih zalije voda, ki sili iz podzemlja v majhnih bruhalnikih na skalnem obodu. Iz najbolj zasutih, odprtih vrtač lahko voda površinsko odteče. V globljih, zaprtih vrtačah pa ponikne nazaj v kraško podzemlje in odteče v izvire pri Primcu. Tam je ob suši vodna gladina v višini okrog 295 m, in pod Zadnjimi dolinami ne more biti nižje. Kraška talna voda je potemtakem največ 5 do 30 m pod površjem, kar je razmeroma ugodno za zajetje.

Nihanje kraške talne vode v območju Zadnjih dolin je prikazano v prečnem ter vzdolžnem prerezu (sl. 9, 11). Vrisane so najnižje in najvišje gladine v



Sl. 10. Prečni prerez doline Bele na Dolgih njivah

Abb. 10. Querprofil des Belatales im Bereich Dolge njive. 1 Karstlehm, 2 Dolomitschotter, Schuttkegel der Bela, 3 Jurakalk, 4 Bohrloch (S, V)

letu 1968. Zanimiva je razlika v gladinah pri Primcu in v posameznih vrtačah v zaledju. V 700 m oddaljeni Koševi dolini znaša razlika med najnižjo in najvišjo vodo do 10 m, v izviru pri Primcu pa največ pol metra (sl. 9). Čeprav seže voda v Koševih in Tonikovih dolinah više kot v strugi Bele, se vode iz teh vrtač ne odtekajo vanjo. Apnenec je v smeri proti Beli očitno manj prepusten, pa tudi naplavine zajezujejo kraško vodo na obeh straneh doline.

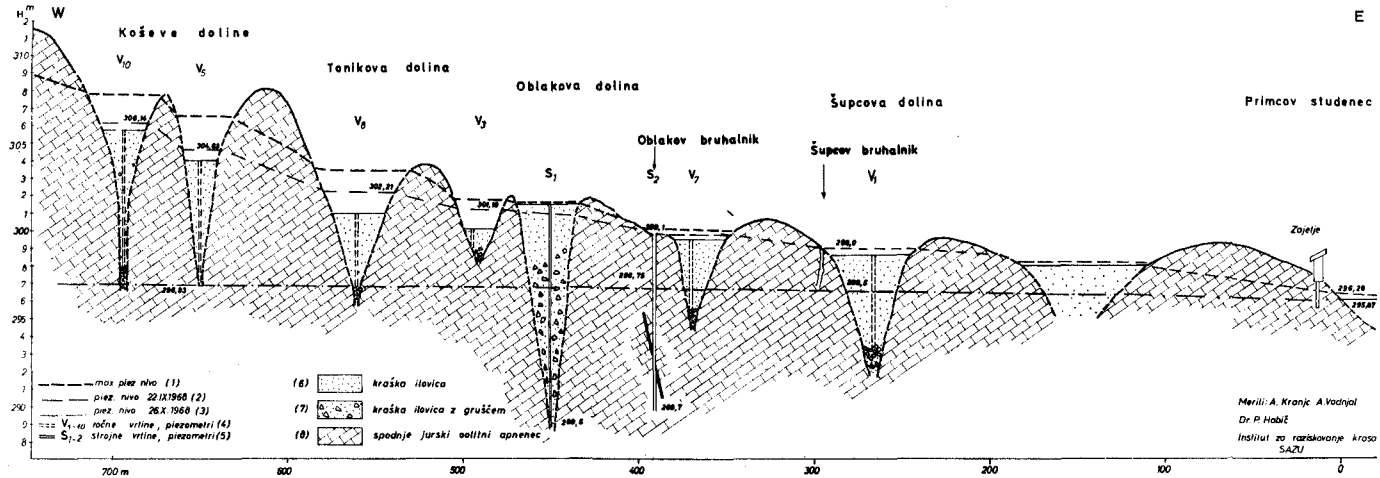
Vodna gladina se lahko v zaledju Primcovega studenca toliko dvigne le v primeru, da je dotok kraške vode iz oddaljenega zaledja dovolj močan in pritisk večji kot pa je prepustnost ožje izvirsne cone. V območju Zadnjih dolin se tedaj uveljavljajo posebne hidrogeološke razmere, značilne za zajezeni kras. Delno jih je mogoče pojasniti z geološko zgradbo in razvojem tektonske kotline Ljubljanskega barja. Kvartarne naplavine, ki so zapolnile to kotlino, so zajezile nekdanje izvirsne kanale in prisilile vodo, da si poišče novih poti na površje. Ker so naplavine v vrtačah nepropustne, predstavljajo nekakšne jezove v podzemeljskih kanalih, zaradi katerih se morajo vode pri večjih dotokih prelivati na površje. Tudi skalni hrbti med vrtačami so razmeroma slabo prepustni, zato se vodna gladina v vrtačah ne izenači in vode se ne prelivajo iz višjih vrtač v nižje, temveč odtečejo po istih špranjah in razpokah kot so privrele na površje. Vrtače v območju Zadnjih dolin delujejo tedaj kot majhne estavele. Maksimiranost podzemeljskega pretoka (I. G a m s 1970) je omejena na bližnje zaledje Primcovega studenca.

Razmeroma skromna prepustnost ilovnatih naplavin v vrtačah in peščenih v dolini Bele je razumljiva, preseneča pa majhna prepustnost apnenca v območju Zadnjih dolin. Številne vrtače so lahko nastale le z intenzivnim zakrasevanjem in spiranjem drobirja v podzemlje, vendar v hidrološko bistveno drugačnih razmerah kot vladajo danes v tem predelu. Kraške vode so se morale pretakati precej pod sedanjim potopljenim in zasutim dnom vrtač. Prvotna cona vodnega pretakanja naj bi bila vsaj 20 m nižje, prav toliko pa tudi nekdanji izviri v dolini Bele. Prvotni kanali so sedaj potopljeni, zasuti in zajezeni. Opraviti imamo s posebnim tipom zajezenege krasa, v katerem si morajo vode oblikovati nove kanale nad starejšimi in ne pod njimi, kot je to v normalnih razmerah na krasu.

V coni sedanjega nihanja kraške vode v zaledju Primcovega studenca je prevotljenost in prepustnost apnenca razmeroma majhna, kar pa ne izključuje bolj prepustnih vertikalnih kanalov, po katerih silijo vode iz globljih in med seboj bolj povezanih votlin na površje. Na skromno povezanost in prepletенost podzemeljskih kanalov v površinski coni krasa, ki ima sedaj funkcijo glavne hidrografske pretočne cone, kažejo razlike v temperaturah in trdotah vode ter znatna nihanja vodne gladine v zaledju Primcovega studenca. Vodne žile so navezane predvsem na razpoke in prelome, ki še niso dovolj preoblikovani v špranje in vodne rove, zato večjih votlin v tej coni ne moremo pričakovati. S tem je treba računati pri iskanju podzemeljskih vodnih žil za novo zajetje.

Naše vrtine in poskusno črpanje je zajelo le površinsko cono, preučiti bi bilo treba še hidrološke lastnosti krasa v večjih globinah, kjer pričakujemo večjo prevotljenost in starejšo cono vodnih kanalov. Program teh raziskav pa še ni izveden.

Geološki zavod iz Ljubljane je izvrtal prvo 12 m globoko vrtino (S 1) v odprti Oblakovi dolini, ki leži 400 m zahodno od Primcovega studenca in ima



Sl. 11. Hidrogeološki prerez ožjega zaledja Primcovega studenca

Abb. 11. Hydrogeologisches Profil des engeren Hinterlandes des Primcov studenec. 1 höchster Wasserstand, 2 Wasserstand nach dem Sturzregen am 22. 9. 1968, 3 tiefster Wasserstand am 26. 10. 1968, 4 Handbohrungen in Dolinen, 5 maschinelle Bohrungen, 6 Karstlehm, 7 Karstlehm mit Schotter, 8 jurassischer Oolithkalk

dno v nadmorski višini 301,5 m. V površinski 3 m debeli plasti prevladuje temno-rjava mastna ilovica, globlje pa je med ilovico več apnenčevega grušča, ki je verjetno nastajal z razpadanjem skalnega oboda med zasipanjem vrtače. Rjavkasta ilovica prehaja v globini 4,5 m v sivo mehko ilovico z močno korodiranimi kosi apnenca. Barva ilovice in razjedeni apnenec sta v neposredni zvezi s kraško talno vodo. Sivkasta ilovica preide v globini 9,5 m spet v rjavordečo mastno glino, pomešano z debelejšim gruščem. Čeprav so te plasti globoko v coni kraške talne vode, kaže barva ilovice in dobra ohranjenost grušča na razmeroma slabo prepustnost te cone. Ker tudi v globini 12 m še niso zadeli na skalno podlago ali zdrobljeno gruščnato cono, je bilo nadaljnje vrtnanje prekinjeno (sl. 12).

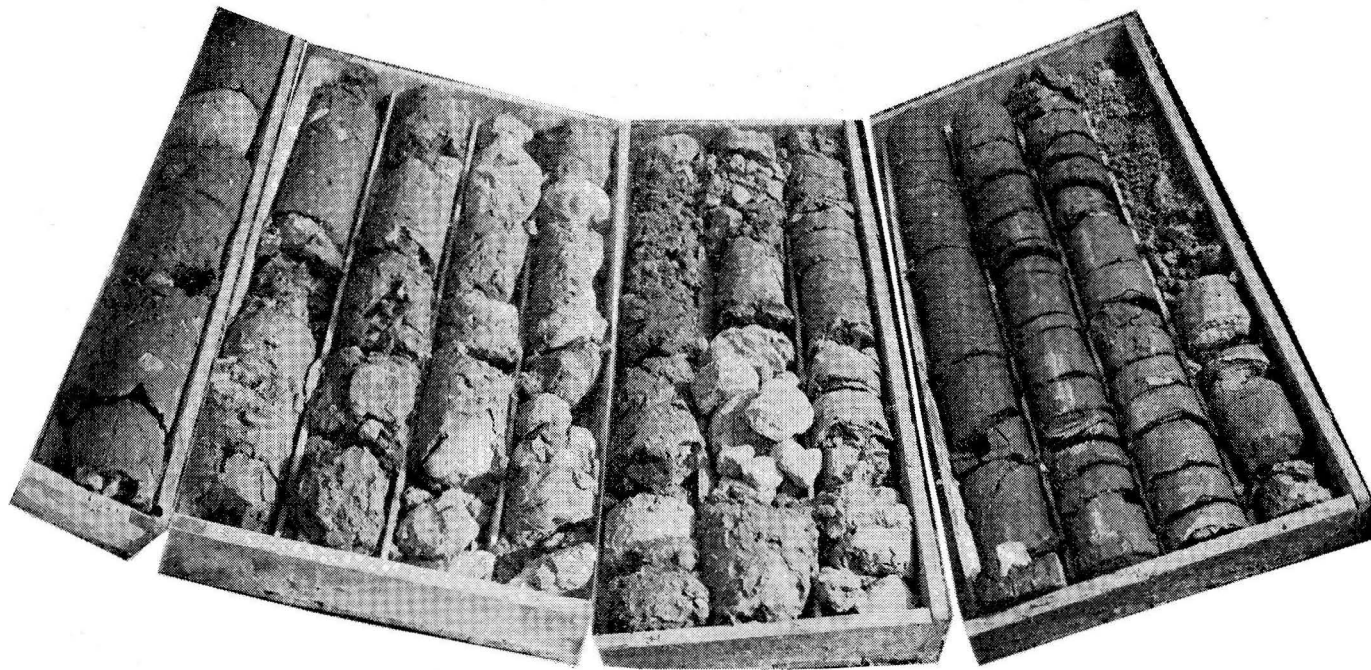
Poskusno črpanje je bilo izvedeno dne 10. 9. 1968, ko je bila gladina kraške vode v nadmorski višini 297,39 m ali 4,1 m pod površjem. Že po kratkem črpanju je upadla gladina za 6 m, izčrpana količina pa je znašala le 84 l. Po prekinitvi črpanja se je nivo dvignil na prvotno višino šele po 5 minutah. Ponovno črpanje je trajalo 10 minut s povprečno količino 0,3 l/s pri ustaljeni vodni gladini 6 m pod površjem. Takšno količino je bilo mogoče načrpati pri nespremenjenem nivoju tudi po večurnem črpanju. Ker ni bilo nobenih znakov za koristno povečanje pritoka, bi bilo nadaljnje črpanje nesmiselno.

Vrtnanje in črpanje v Oblakovi dolini je pokazalo, da zasute vrtače niso povezane z izdatnejšimi vodnimi žilami, čeprav so ob visokih vodah poplavljeni. Več možnosti za izdatnejše pretakanje kraške vode verjetno nudijo vmesni skalni pragovi med zasutimi vrtačami. V njih so posamezne špranje, po katerih sili kraška voda ob poplavih na površje.

Po izkušnjah v Oblakovi dolini je bila naslednja vrtina (S 2) zastavljena le dobrih 50 m od prve v ozko plitvo brezno z imenom Oblakov bruhalnik. Tam namreč izvira po najmočnejšem deževju majhen potok, ki teče po površju ob Dolgih njivah v strugo Bele (sl. 13). Brezno je bilo 3 m globoko zasuto s humusom, smetmi in gruščem, globlje pa je vrtina zadela na živo skalo. Dobrih 7 m pod površjem je bila prevrtana poldrug meter velika kraška votlina, zapolnjena z gruščem in ilovico. Pod votlino se nadaljuje gost oolitni apnenec, ki do globine 10 m ni posebno pretrt in zakrasel.

Vodna gladina je bila med vrtnanjem 3 m pod površjem ali v višini 297 m; pri prvem črpanju, dne 12. 9. 1968 pa 15 cm više. Po več kot enournem črpanju je ostala gladina nespremenjena, povprečno pa so črpali le 2,3 l/s. Dotok vode je bil očitno precej večji, zato je bilo treba črpanje ponoviti z močnejšo črpalko. Pri drugem črpanju, dne 16. 9. 1968 je bila gladina 2,45 m pod površjem, ker je po zadnjem dežju voda nekoliko narastla. Črpalka je zmogla 26 l/s, vodna gladina pa je ostala po daljšem črpanju nespremenjena. Temperatura in trdota vode sta bili enaki kot v Primcovem studencu.

	T° C	Karb.	Cel.	Kalc.	Magn.	Q v l/s
Oblakov bruhalnik (V ₂)	10,0	11,2	12,5	7,8	4,7	26
Primcov stud.	10,0	11,2	12,5	7,8	4,7	90



Sl. 12. Jedro vrtine S 1 v Oblakovi dolini. Prevladuje rdeča kraška ilovica pomešana s apnenčevim gruščem
Abb. 12. Kern des Bohrlochs S 1 in Oblakova dolina. Es überwiegt roter, mit Kalkschotter gemischter Karstlehm



Sl. 13. Pri Oblakovem bruhalniku po nalivu dne 22. 9. 1968, iz vrtine S 2 je vrela razmeroma čista kraška voda

Abb. 13. Am Wasserspeier Oblakov bruhalnik nach dem Sturzregen am 22. 9. 1968. Aus dem Bohrloch S 2 strömte verhältnismäßig reines Karstwasser

Takšna podobnost vode je možna le pri neposredni povezanosti obeh voda. S črpanjem v Oblakovem bruhalniku je dokazana precej večja prepustnost podzemeljskih kanalov kot v prvi vrtini v bližnji Oblakovi dolini. Dejansko izdatnost te vodne žile pa bi mogli določiti šele z močnejšimi črpalkami.

Tretja vrtina (S 3) je bila zastavljena ob strugi Bele, nekoliko vzvodno od Primcovega studenca in Kožuhovega izvira. Pokazala naj bi debelino in sestavo naplavin ter omogočila opazovanje nihanja talne vode. Pod vrhno plastjo humusne ilovice, mešane z dolomitnim gruščem, so pretežno gruščnate plasti, ki se razlikujejo le po velikosti dolomitnih drobcev, manj pa po barvi ali deležu ilovnatih primesi. V globini 9,5 m prehaja dolomitni grušč v rjavkasto ilovico, pomešano s kosi apnenca, ki ga je vrtina dosegla v globini 10 m. Z eno samo vrtino še ni mogoče spoznati oblikovanosti doline v živoskalni podlagi pod kvartarnimi naplavinami Bele. Glede na morfološke značilnosti pa smo vendarle sestavili prečni prerez Bele pri Dolgih njivah. Možno je, da vrtina S 3 ni dosegla skalne podlage v najglobljem delu doline in da je v 300 m širokem zatrepu med Belo in Oblakovim bruhalnikom skalno dno tudi nekoliko drugače

oblikovano. Le malo pa je verjetno, da je prvotna dolina Bele v tem predelu bistveno globlja in da so v njej razen mlajših ilovnatih in gruščnatih naplavin tudi starejše jezerske gline, ki sicer prevladujejo v območju Ljubljanskega barja. V tretji vrtini ni bil izveden črpalni poskus, vodna gladina pa je bila med vrtanjem v višini okrog 295 m ali 5 m pod površjem. Zaloge talne vode v naplavini so razmeroma skromne, pa tudi Bela k njim le malo prispeva. Talna voda ostane v naplavini Bele precej pod gladino visoke vode v strugi in na nihanje podtalnice bolj vpliva kraška voda z obrobja kot pa Bela.

Vodna zveza med Hribskim potokom in Primcovim studencem

Položaj kraških izvirov ob severnem in južnem obrobju doline Bele kaže bolj na ločeno hidrografsko zaledje, kot pa na tesno medsebojno povezanost teh voda. Ločenost Bele, Primcovega studenca in Hribskega potoka pa je le navidezna in se kaže samo na površju. Napačno predstavo bi dobili, če bi si tudi v podzemlju predstavljali podobno izolacijo tokov kot na površju. Večkrat so glavni tokovi v krasu tudi dejansko omejeni na pomembnejše večje rove, ki potekajo v geološko in hidravlično ugodnejših conah, medtem ko je pretakanje vode v drugih kraških predelih znatno manjše. Zaradi neenakomerne razporeditve voda v kraškem podzemlju so se razvile v svetu številne teorije o pretakanju vode (F. J e n k o 1959; B. G è z e 1965, 9—39), mnogi hidrološki problemi pa še niso dovolj pojasnjeni. Tudi z barvanjem, ki je navidez najzanesljivejša metoda za določanje podzemeljskih vodnih zvez, dobimo pogosto le enostransko predstavo o povezanosti kraških voda. Takšna spoznanja je mogoče dopolniti s podrobnejšim preučevanjem hidrogeoloških značilnosti krasa, s primerjanjem kvalitete in izdatnosti izvirov ter nihanja vodne gladine v naravnih in umetnih razmerah. S temi metodami smo skušali ugotoviti tudi medsebojno povezanost zaledja Primcovega studenca in Hribskega potoka. Enotna geološka zgradba s prevlado jurskega apnenca na obeh straneh doline Bele ter razmeroma plitva, pretežno gruščnata naplavina omogočata skoraj sklenjeno vodno gladino v zaledju obeh izvirov in celo v naplavini Bele. O tem nas potrjuje precej skladno nihanje vodne gladine v Kožuhovem izviru, v vrtini (S 3) ob Beli ter v Oblakovem bruhalniku (S 2).

V Kožuhovem izviru niha vodna gladina pri zaprti zapornici le okrog 40 cm. Ob visoki vodi ponavadi zapornico odprejo in tako pospešijo odtok, zato se gladina izvira ob najvišjih vodah bistveno ne dvigne nad normalno zajezeno gladino. Najnižja je gladina ob suši pri odprti zapornici in tedaj je le dober meter pod najvišjo. Najnižje vodne gladine v letu 1968 so bile izmerjene dne 29. 10., v Kožuhovem izviru je bila gladina v višini 296,66 m, v vršaju Bele 295,83, v Oblakovem bruhalniku pa 296,75 m. Ob suši je torej najnižja gladina v naplavini Bele. Nekoliko drugačne so razmere ob visokih vodah, ko je struga Bele polna, toda talna voda je še vedno precej nižje, vendar ne bistveno pod gladino vode v obrobem krasu (sl. 10).

Dne 2. 10. 1968 je bila Bela v višini 300,45, v bližnji vrtini (S 3) pa je bila gladina talne vode v višini 297,81 m, medtem ko je bila pri Primcu v višini 295,92 in pri Kožuhu 296,90 m. Kraške vode na obeh straneh doline Bele očitno vplivajo na višino talne vode v vršaju. Večinoma pa je tam precej nižje kot v obrobem krasu. To pa na prvi pogled izključuje medsebojno zvezo Prim-

covega studenca in Hribskega potoka. Nadaljnja opazovanja nihanja vode v vrtinah in poskus z zapornico pri Kožuhovem izviru pa so potrdila hidrološko povezavo kraškega zaledja obeh izvirov.

V petek, 25. 10. 1968, smo merili vodne gladine v vrtinah in izviri pri Primcu. Presenetili so nas visoki vodostaji v vrtinah, bili so namreč za okrog 40 cm višji kot pred desetimi dnevi, čeprav v tem času ni padlo niti kapljice dežja. Večji je bil tudi pretok vode pri Primcu. Ta neskladnost je bila kmalu pojasnjena. Pri Kožuhovem mlinu so namreč popravili zapornico in dvignili vodno gladino za okrog 60 cm. Ta dvig vode v Kožuhovem izviru pa se je odrazil tudi pri Primcu in v kraškem zaledju.

Vpliv umetnega zvišanja vodne gladine v kraškem zaledju Hribskega potoka na izdatnost in višino Primcovega izvira smo skušali spoznati z nadaljnjim odpiranjem in zapiranjem zapornice pri Kožuhovem mlinu. Dne 25. 10. 1968 ob 11,10 smo zapornico odprli in voda je že v pol ure upadla za 0,5 m, v tem času se je znižala gladina v vrtinah S 1 in S 2 za 20 cm, medtem ko je ostala gladina v vršaju Bele v vrtini S 3 nespremenjena. Po štirih urah se je znižala gladina v izviru pri Kožuhu že za 80 cm, v vrtinah S 1 in S 2 za 40 cm, v vrtini S 3 pa le za 5 cm. Naslednji dan so bile gladine približno v enakih višinah, le v vršaju Bele se je znižala še za 3 cm. Očitno se je vzpostavilo novo ravnotežje v kraškem zaledju in v vršaju Bele.

Medsebojno zvezo in odvisnost v nihanju vodne gladine smo skušali preveriti tudi z zvišanjem nivoja pri Kožuhu. Zapornico smo zaprli 26. 10. ob 13,10. Po štirih urah je vodna gladina v Hribskem potoku narastla za 70 cm, v Primcovem studencu pa le za 2 cm. V vrtini S 2 se je zvišala gladina vode za 35 cm, v vrtini V 5 pa celo za 50 cm, v vrtini S 3 se je dvignila voda le za 6 cm. Meritve naslednjega dne so pokazale, da so se vodne gladine v izviru Hribskega potoka, v naplavini Bele, v vrtinah in v Primcovem studencu vrstile v enake višine, kot so bile pred poskusnim odpiranjem zapornice.

Nihanje vodne gladine med poskusom z zapornico pri Kožuhovem izviru:

Absolutne višine vodne gladine

Mesto opazovanja	Spuščena zapornica 25. 10. 9 h	Dvignjena zapornica			Spuščena zapornica	
		po 1/2 h	po 4 h	po 20 h	po 4 h	po 20 h
Hribski potok	297,62	297,00	296,70	296,66	297,36	297,62
V 5	297,63	—	—	296,83	297,33	297,63
S 1	297,54	297,34	297,16	296,95	297,16	297,54
S 2	297,42	297,24	296,96	296,75	297,10	297,42
S 3	295,95	295,95	295,90	295,83	295,07	295,92
Primcov stud.	295,92	295,90	295,07	295,87	295,89	295,95

Opomba: Zapornico smo odprli 25. 10. 1968 ob 11,10^h in zaprli dne 26. 10 ob 13,30^h.

S tem poskusom je posredno dokazana vodna zveza med Primcovim in Bečkajevim studencem ter Hribskim potokom, ki je doslej še nobeno barvanje ni ugotovilo. Dotok kraške vode iz zaledja Hribskega potoka je večji ob nizkih vodah, ko je večja tudi razlika v gladinah vode med obema izviroma. Ob visoki vodi je vpliv Hribskega potoka na Primcov studenec vsaj relativno manjši, ker se okrepi pritisk vode iz neposrednega severnega zaledja tega izvira. To dokazuje tudi povečana kalnost, saj rdeča kraška ilovica v vodi izvira predvsem s površja v bližini Stare Vrhnike. Takšne vodne razmere pa se odražajo tudi v temperaturi in trdoti voda, razlike med Hribskim potokom in Primcovim studencem niso vedno enake.

Nihanje vodne gladine v kraških izviroh na obeh straneh doline je torej med seboj povezano in ga naplavine Bele ne ovirajo. V teh naplavinah se gladina talne vode ne izravnava povsem z gladino kraške vode. Po razmerah v Koševi in Tonikovi dolini (vrtini V 5 in V 6) sklepamo, da se globlje v zaledju gladine kraških voda bolj izenačijo kot bliže izvirom, kjer se kaže večji vpliv lokalnih razlik v zajezenosti in prepustnosti.

Temperaturne značilnosti kraških izvirov so v veliko pomoč pri preučevanju izvora in podzemeljske povezanosti voda. Z rednimi meritvami temperatur pa tudi s spremljavo drugih lastnosti, lahko dobimo zanimive podatke o razmerah v zaledju kraških izvirov.

V naslednji tabeli so prikazane temperature Hribskega potoka ter Primcovega in Bečkajeva studenca od maja do decembra 1968:

Datum	Hribski potok	Primcov studenec	Bečkajev studenec
28. 5	9,6	9,8	9,8
10. 6.	9,8	10,0	10,2
18. 6.	10,0	10,0	10,0
23. 9.	9,8	10,4	10,4
15. 10.	9,8	10,0	10,0
25. 10.	9,8	9,9	9,9
28. 11.	9,2	9,8	10,2
26. 11.	8,6	9,6	9,6
16. 12.	8,8	9,5	9,5

V vseh teh izviroh niha temperatura vode v teku leta med 8° in 10° C, torej le za dve stopinji. Hribski potok ima lahko enako toplo ali pa le za eno stopinjo hladnejšo vodo kot Primcov in Bečkajev studenec. Ta dva sta po večini enako topla, le včasih je Bečkajev studenec za 0,2° toplejši. Takšne razmere so pred-

vsem posledica mešanja različnih voda, ki napajajo obravnavane izvire. V deževnih obdobjih, ko vode napolnijo podzemeljske kanale, je mešanje in izenačevanje manjše, kot v stabilnih in sušnih obdobjih. Po deževju v začetku junija (10. 6. 1968) so se temperature v vseh treh izvirih razlikovale za $0,2^{\circ}$, podobno tudi po nalivu v septembru, le da so bile tedaj temperature v Primcovem in Bečkajevem studencu enake (10,4), v Hribskem potoku pa za $0,6^{\circ}$ C nižje.

Na mešanje podzemeljske Hribščice s Primcovim studencem kaže tudi temperatura vode v vmesnem Oblakovem bruhalniku (vrtina S 2), ki je bila po nalivu v septembru 1968 enaka kot v Hribskem potoku. Očitno so glavni tokovi, ki napajajo izvire, nekaj časa po deževju bolj ločeni, iz vsakega predela teče voda po svojem osnovnem kanalu. Pozneje ob upadanju pa se temperature in druge značilnosti izenačijo, kot da se vsi izviri napajajo iz istega zaledja in vode se tudi v ločenih tokovih prilagodijo splošnim razmeram v podzemlju.

Na bolj ali manj izolirane tokove ob visokih vodah kaže poleg temperatur tudi kalnost vode. Najmočnejše se kali Bečkajev studenec, le malo manj pa Primcov, medtem ko voda iz Oblakovega bruhalnika ni dosti bolj motna kot površinska Bela. Ob sovodnji s Primcovim in Bečkajevim studencem je Bela le rahlo skaljena in ne naplavlja ilovice. Takšne razmere smo opazovali po močnem nalivu, dne 22. 9. 1968; že naslednji dan pa je bila Bela povsem čista, medtem ko je bil Bečkajev studenec še sorazmerno kalen. Ob njegovi strugi je ostalo po travi precej rdečkastorjavega blata. Ta izvira iz kraške ilovice, ki jo je največ severozahodno od izvira v okolici Stare Vrhnike.

Podobne značilnosti, kot jih nakazujejo temperature, se odražajo tudi v trdoti vode. Celokupna trdota se v obravnavanih treh izvirih razlikuje za največ 4° nT, razlike pa so lahko tudi manjše ali pa občasno povsem izginejo. Največje so v deževni dobi, ko ima vsak izvir drugačno trdoto, ob suši pa so trdote v vseh izvirih enake.

Primerjava celokupne trdote Hribskega potoka, Primcovega in Bečkajevga studenca

	Celokupna trdota v $^{\circ}$ nT			
	28. 5.	10. 6.	23. 9.	29. 10. 1968
Hribski potok	10,4	10,3	11,0	12,3
Primcov studenec	10,5	13,2	13,3	12,6
Bečkajev studenec	10,7	13,5	14,1	12,6
Oblakov bruhalnik	—	—	12,2	—

Razlike in podobnosti v trdotah so prav gotovo povezane s sistemom napajanja izvirov, ki smo ga skušali spoznati že pri primerjanju temperatur. Trdota Oblakovega bruhalnika se približuje trdoti v sosednjih izvirih. V tem se kaže mešanje voda iz zaledja Hribščice in Primcovega studenca. Zanimivo pa je,

da je po temperaturnih in kemičnih lastnostih Oblakov bruhalnik bolj soroden Hribskemu potoku kot Primcovemu studencu. To značilnost velja posebej upoštevati pri izbiri mesta za novo zajetje kraške vode.

Pregled važnejših hidrogeoloških ugotovitev

Kraško povodje Bele, Hribskega potoka in Primcovega studenca pri Vrhniki predstavlja hidrogeološko enoto, ki smo jo podrobneje spoznali v zvezi s potrebami vodne oskrbe Vrhnike in njene okolice. Bela ima povirje v triasnem dolomitu zaplaninskega pokrova, ki je narinjen na kredne in jurske apnence vrhniško cerkniške grude (S. Buser 1965; R. Gospodarič 1968). V teh apnencih so južno od Vrhnike razporejeni kraški izviri Male in Velike Ljubljance ter Lubije, zahodno od Vrhnike pa izvirajo še Hribski potok na desni in Primcov ter Bečkajev studenec na levi strani doline Bele. Voda iz dolomitnega povirja ter iz kraških izvirov ob Beli so že deloma zajete za oskrbo Vrhnike in okolice, predstavljajo pa tudi potencialni vodni vir za oskrbo v bodoče. Kraške vode iz apnencev imajo precej okuženo vodo in leže v ožjem zazidalnem okolišu Vrhnike, zato jih skoraj ni mogoče varovati pred nadaljnjim onesnaževanjem. Zajeti dolomitni izviri Lintverna in Staj pa so ob nizkih vodah prešibki za kritje potreb po pitni vodi.

Iz dolomitnega zaplaninskega pokrova odteče voda deloma po dolini Bele v Ljubljano, deloma pa ponikne v zakraselem dolomitu ali pa v sosednjih apnencih ter se preliva po kraškem podzemlju v izvire pri Vrhniki. Z barvanjem smo ugotovili, da odteka Bela, ki ponika v srednjem apnenčastem delu doline, v izvire Hribskega potoka. V soteski Grapa se izgubi 10 do 20 l/s, niže ob Beli pri Osenku pa ponikne do 100 l/s. Bela izgubi del vode tudi v spodnjem delu doline, kjer teče po lastnih naplavinah. Vodni režim doslej ni bil podrobneje opazovan. Po občasnih meritvah sklepamo, da doseže pretok Bele ob visokih vodah do 3 m³/s, ob suši pa je ves srednji in spodnji del doline suh, v zgornjem delu pa se pretaka do ponikev v Grapi le nekaj litrov na sekundo. Minimalna izdatnost dveh najpomembnejših izvirov v dolomitu, svojevrstne zaganjalke Lintvern (P. Habič 1970) in stalnega izvira v Stajah, je ocenjena na 4 do 5 l/s. Vodnatost teh izvirov ni v skladu z zaledjem, ki jim pripada po morfoloških značilnostih. Na podlagi geološke zgradbe pa tudi ni mogoče podrobneje razmejiti zaledja teh izvirov s sosednjimi, ki so razvrščeni okrog najvišjega vrha Ulovke (800 m) nad Zaplano.

Za vodno oskrbo bi bile dolomitne vode v povirju Bele zelo dragocene, ker bi lahko gravitacijsko napajale omrežje, pa tudi zaščita povirja ne bi predstavljala posebnih težav. Za kritje vseh potreb pa bi bilo treba zgraditi zadrževalnik za letno izravnavo vodnega režima, kar pa v zakraseli dolini Bele ni lahka naloga.

Izvir Hribskega potoka pri Kožuhu je po minimalni izdatnosti 130 l/s zelo primeren vodni vir za kritje sedanjih in bodočih potreb po vodi v okolici Vrhnike. Njegovo kraško zaledje pa se razteza do severnega dela Logaškega polja in na površinsko povodje Rovtarice in Petkovščice (A. Šerko 1946; 1951). Z barvanjem Majerjeve grape pri Zaplani smo spoznali, da se v Hribski potok stekajo tudi vode iz zahodnega dela dolomitnega zaplaninskega pokrova. Vodni

režim Hribskega potoka je v primerjavi z drugimi kraškimi izviri Ljubljaniče še sorazmerno umirjen. Ob najvišjih vodah doseže pretok okrog $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, voda pa je dalj časa po deževju kalna in motna. Za podrobnejšo analizo vodnih razmer še ni na voljo ustreznih podatkov, zato tudi ni mogoče spoznati vseh zakonitosti pretakanja vode v obsežnem, vendar le približno določenem kraškem zaledju. Po dosedanjih raziskavah in barvanjih (A. Šerko 1946; N. Čadež 1952; I. Gams 1965) se v Hribskem potoku ne mešajo vode, ki napajajo druge izvire Ljubljaniče. Ni pa izključeno, da se del voda iz zaledja Hribskega potoka ne odteka vanje. Vodna gladina je v zaledju Hribskega potoka (296—297 m) vedno nekaj metrov više od gladine v zaledju drugih izvirov Ljubljaniče (290—293 m). Po minimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za porečje Ljubljaniče 3 l/s/km^2 , pripada Hribskemu potoku okrog 30 km^2 zaledja. To kraško površje je razmeroma težko varovati pred onesnaženjem in je celo v ožjem zaledju izvira naseljeno, zato bi bilo treba vodo temeljito čistiti.

Dobrih 500 m severno od izvirov Hribskega potoka sta na levi strani doline Bele dva kraška studenca, ki se po legi in drugih hidroloških značilnostih še bolj razlikujeta od glavnih izvirov Ljubljaniče. Zaradi ugodne lege in primerne izdatnosti je bil Primcov studenec pred 20 leti zajet kot dodatni vodni vir za oskrbo Vrhnike. Z razširitvijo naselja v njegovo ožje kraško zaledje se je kvaliteta vode zelo poslabšala in ker ni ob zajetju čistilnih naprav, vrhniška voda že nekaj let ni primerna za pitje.

Ožje kraško zaledje Primcovega in Bečkajevega studenca, ta je od prvega oddaljen le dobrih 50 m, je razmeroma nizko in se razteza med dolino Bele ter Staro Vrhniko v višinah med 300 in 330 m. Kraška talna voda v tem zaledju niha zelo različno, pri izviru le za pol metra, v Tonikovih in Koševih dolinah, 700 m od izvira, pa do 10 m. Zelo izravnani vodni režim obeh izvirov je odraz maksimiranosti podzemeljskih kanalov, zaradi česar je oviran predvsem iztok kraške vode na površje. Razmeroma velika izdatnost ob nizkih vodah kaže na večji obseg zaledja, do 20 km^2 . Po geoloških in morfoloških značilnostih je možno opredeliti zaledje le v severnem delu. Z barvanjem občasne ponikalnice v Koritih nad Staro Vrhniko je dokazan odtok tamkajšnjih voda v Primcov in Bečkajev studenec. V južnem delu se zaledje obeh studencev veže s kraškim zaledjem Hribskega potoka onkraj doline Bele. Zveza z barvanjem ni dokazana, posredno pa je potrjena z vplivom umetnega zajezevanja Hribskega potoka na izdatnost izvira pri Primcu in na spremembo gladine v ožjem zaledju obeh izvirov kot tudi v vmesnem delu doline Bele. Primerjava temperature in trdote kraške vode na obeh straneh doline Bele kaže na različno mešanje voda iz skupnega zaledja. Vrtina in črpalni poskus v Oblakovem bruhalniku sta potrdila predvidevanja, da je možno zajeti kraško vodo v zaledju Primcovega studenca. Ker pa leži Oblakov bruhalnik še v ožjem zazidalnem območju, bi bilo treba z nadaljnjimi raziskavami ugotoviti najprimernejše mesto za novo zajetje še v večji oddaljenosti od izvira.

Možnosti za ureditev vodne oskrbe na Vrhniki in drugi problemi izrabe kraških voda opozarjajo na potrebo po podrobnejši preučitvi in opredelitvi kraških vodnih rezervatov, namenjenih za oskrbo s pitno vodo, da bi jih lahko pravočasno in učinkovito zavarovali pred onesnaževanjem. Samo tam, kjer zaščita ni mogoča, bi bilo upravičeno drago in zahtevno čiščenje okužene kraške vode za oskrbo naselij.

Nekateri problemi izrabe kraških vodnih virov za oskrbo

Na Vrhniki se kvaliteta vode stalno slabša, zato je treba zagotoviti učinkovito izboljšanje vodne oskrbe. Glede na razpoložljive vodne vire se ponuja več možnosti. Pri izbiri najprimernejšega vira je treba upoštevati poleg današnjih tudi bodoče potrebe po vodi. Urbanistični program občine predvideva skupinski vodovod za oskrbo vseh naselij v severnem in zahodnem obrobju Ljubljanskega barja (Urbanistični inštitut SRS, 1967). Glede na predvideno rast prebivalstva in industrije bo potrebno v prihodnjih 30 letih oskrbeti z vodo najmanj 20 000 prebivalcev, za kar bi morali imeti na voljo vir z okrog 100 l/s vode.

Na podlagi dosedanjih raziskav vodnih virov v neposredni okolici Vrhnike so dane naslednje možnosti:

1. Gravitacijski vodovod s popolno izrabo Lintverna in Staj ter drugih voda v povirju Bele.

2. Povečanje sedanjega gravitacijskega vodovoda z večjim izkoristkom dolomitnih izvirov in z dodatnim črpanjem ter čiščenjem kraških voda v nenaseljenem zaledju Primcovega studenca.

3. Črpalno zajetje kraških voda v izvirih sredi naselja ali v nenaseljenem zaledju Primcovega studenca ali Hribskega potoka.

Dolomitne vode v povirju Bele imajo več prednosti, ki bi jih kazalo izrabiti. Predvsem je pomembno, da so razmeroma čiste, se ne kalijo in izvirajo iz malo naseljenega območja. Zajeti jih je mogoče v taki legi, da bi gravitacijsko napajale skoraj celotno območje. Neugoden je sedanji režim z velikim nihanjem pretokov in razmeroma majhno izdatnostjo ob suši. Za popolno oskrbo z gravitacijsko vodo bi bilo treba zajeti vse vode Lintverna, Staj in drugih izvirov v povirju Bele in s primerno akumulacijo izravnati letne pretoke. Dolina Bele ter grape v Stajah in pri Starem malnu pod Lintvernom so dovolj prostorne in v primerni legi, vprašanje pa je, če bi bila na zakraselem dolomitu in v bližini še bolj zakraselega apnenca izvedljiva takšna akumulacija. Poprej bi bilo treba še temeljito geološko preiskati teren, hkrati pa ugotoviti tudi dejanske vodne količine in preveriti posamezne elemente vodne bilance.

Površinska akumulacija za vodno oskrbo bi imela nekatere prednosti pa tudi slabosti. Zaščititi bi bilo treba sorazmerno majhen predel, ki še ni preveč izpostavljen onesnaževanju. Visoko kvaliteto bi lahko dosegli sorazmerno poceni, skrbeti pa bi bilo treba le za varnost in čistost površinske akumulacije. Ker je že sedanje povodje Bele zanimivo rekreacijsko območje, v njegovem obrobju pri Strmici in Zaplani pa so zrastle že številne počitniške hišice, bi bilo treba posebej paziti, da ne bi umetno jezerce privabilo še druge turistično gostinske in rekreacijske dejavnosti. Tak primer je znan na Nevesinjskem polju v Hercegovini, kjer so ob umetnem jezeru za vodno oskrbo zgradili še športno rekreacijsko središče, obenem pa tja napeljali tudi kanalizacijo iz naselja.

Dolomitne izvire v povirju Bele bi še na drug način lahko boljše izkoristili. Sedanje majhne cevi bi morali zamenjati z večjimi, da bi zajeli čimveč dobre pitne vode, ki se sedaj ob višjih vodah preliva mimo zajetij. Z manjšo umetno podzemeljsko akumulacijo bi lahko zajeli tudi vsakokratni izbruh Lintverna, ne da bi uničili to naravno znamenitost. Zlasti ob deževju, ko se najbolj skalijo kraške vode in se zelo poveča njihova okuženost, bi dolomitni izviri v celoti krili potrebe po vodi. Ob nizkih vodah bi s črpanjem dodajali vodo iz kraškega

vira, ki bi jo tudi lažje očistili. Zaščita povirja Bele ne bi bila težavna, veliko težje pa bi uspešno zaščitili hidrografske zaledje kraškega vira, iz katerega bi po potrebi črpali vodo.

Glede na rezultate dosedanjih raziskav, bi kazalo zajeti kraško vodo v zaledju Primcovega studenca nekje v območju Zadnjih dolin, čim bliže dolomitnemu narivu, ali pa morda celo v apnencih pod dolomitom ob vznožju Storževega griča. Tam bi lažje zaščitili ožje območje zajetja, črpali pa bi predvsem vodo iz globljih zakraselih con pod zaplaninskim dolomitnim pokrovom.

Tehnično najenostavnejše je zajetje izdatnega kraškega izvira, kot je na primer izvir Hribskega potoka. Ob takem zajetju pa je potrebna zanesljiva čistilna naprava. Hidrografske zaledje takšnega vodnega vira je zelo izpostavljeno onesnaževanju, ki ga skoraj ni mogoče kontrolirati, niti v ožjem zaledju, še manj pa v območju bolj oddaljenih ponikalnic s površinskimi tokovi.

Namesto neučinkovitega varovanja obsežnega kraškega zaledja bi bilo treba zagotoviti temeljito čiščenje in umetno vzdrževanje kvalitetne pitne vode. Glede na različne vrste onesnaževanja bi bila tudi to zahtevna naloga in že ob začasnih zastojih čiščenja bi celotno območje ostalo brez vode. Tudi izpadi električnega toka bi imeli enak učinek. Z zajetjem kraške vode izven naseljenega zaledja Hribskega potoka bi le delno razbremenili čiščenje, kvalitetno nekoliko ugodnejšo vodo pa bi dobili v zaledju Primcovega studenca ob vznožju Storževega griča. Za takšno izboljšanje bi bilo treba še nekaj dragih raziskav, predvsem vrtanj in črpanj, da bi našli v krasu dovolj izdatno vodno cono. Črpalni poskus v Oblakovem bruhalniku je potrdil takšno možnost, toda ta bruhalnik leži preblizu naselja, ki se vedno bolj širi po dolini Bele navzgor.

Problemi izrabe kraških vodnih virov za oskrbo Vrhnike in njene okolice so zelo tipični, zato smo jih skušali nekoliko obširneje predstaviti. Izraba kraških vodnih virov za oskrbo je odvisna od naravnih in družbenih danosti, ki so med seboj tesno povezane. Težave, s katerimi smo se seznanili, izhajajo na eni strani iz kraške narave s svojevrstnim sistemom površinskega in podzemeljskega pretakanja vode. Kraškim neznankam se pridružujejo različni vplivi človekovega udejstvovanja v prostoru, ki jih je pogosto zelo težko prilagoditi in vskladiti z naravnimi možnostmi. Najboljše rešitve ne moremo izbrati, če niso dovolj proučeni in pretehtani vsi dejavniki, ki lahko bistveno vplivajo nanje. Problematika izrabe kraških vodnih virov, kot smo jo spoznali na primeru Vrhnike, zahteva še temeljito preučevanje naravnih danosti kot tudi družbenih potreb in možnosti za zagotovitev dobre pitne vode.

Kraške vodne vire bi glede na možnosti za vodno oskrbo lahko razvrstili po različnih značilnostih. Pomembna je nedvomno lega vodnega vira in njegova horizontalna ter vertikalna oddaljenost od središča potrošnje. Kraški izviri leže povečini niže od oskrbovalnega območja, zato je potrebno kraško vodo črpati ponekod zelo visoko, za Postojno na primer okrog 180 m. Le redko se lahko širše območje gravitacijsko napaja iz kraškega izvira, kot na primer Ajdovščina in del Vipavske doline iz Hublja. Prevelika oddaljenost izvira od potrošnje je lahko huda ovira, prav tako pa tudi lega izvira sredi oskrbovanega naselja, kot se to kaže na Vrhniki.

Precejšnje težave povzročajo kraški izviri z zelo spremenljivo izdatnostjo. Zlasti ob suši prihaja do resnih problemov vodne oskrbe, če izvir povsem presahne, ali pa so njegove vode bistveno manjše od potreb. Za vodno oskrbo

so primernejši kraški izviri z bolj ustaljenim režimom, ki dobivajo vodo iz obsežnejšega zaledja. Vendar ne moremo samo po enakomernih pretokih in izravnosti režima soditi o vrednosti kraškega izvira. Razen količine je pomembna tudi kvaliteta kraške vode. Ta pa je odvisna predvsem od značaja kraškega zaledja in od razporeditve in jakosti različnih virov onesnaženja. Za vodno oskrbo so najprimernejše kraške vode, ki se stekajo iz nenaseljenega zaledja. Ugodnejše so tudi vode iz globokega krasa, ponavadi imajo taki izviri razmera nizke in v teku leta zelo izenačene temperature. Manj primerni so izviri, ki jih napajajo ponikalnice, ker zbirajo vodo z nepropustnega, gostejše naseljenega in onesnaževanju bolj izpostavljenega površja, podobno velja tudi za ponikalnice na kraških poljih. Več negativnih lastnosti za vodno oskrbo imajo izviri v plitvem, z ilovico bolj pokritem krasu. Te vode se namreč skoraj po vsakem deževju kalijo in tudi spiranje drugih škodljivih snovi s površja je izdatnejše, zato so vode bolj okužene.

Že iz tega kratkega pregleda je razvidno, kako različni so lahko kraški izviri in zato jih je treba temeljito poznati, če jih hočemo s pridom izrabiti. Marsikatero pomanjkljivost se da popraviti. Izboljšamo lahko režim in izdatnost izvira. To skušajo marsikje doseči z umetnim zajezevanjem izvirov in s podzemeljsko akumulacijo vode. Ponekod se dajo izkoristiti naravne vodne rezerve globlje v krasu pod nivojem izvirov. Obogatitev nizkih voda je mogoče doseči tudi s površinskimi zadrževalniki v nekraškem zaledju. Takšne možnosti se kažejo zlasti ob južnem vznožju Brkinov, kjer bi lahko v slepih dolinah zadrževali vodo in jo po potrebi dodajali Rižani (I. G a m s 1962, 268). Takšne možnosti so v zaledju Hribskega potoka, v porečju Rovtarice, Petkovščice in Bele.

Vsako umetno izboljšanje režima ali kvalitete vode pa zahteva posebne napore in je v določeni meri tudi nezanesljivo in včasih zelo drago. Zaradi znatne podzemeljske povezanosti kraških voda iz različnih in tudi zelo oddaljenih predelov nastajajo resni problemi realne zaščite kraških vodnih virov. Ti problemi se razlikujejo po hidrografskih in hidrogeoloških območjih, pa tudi po različno naseljenih in urbaniziranih predelih. Vrhniški primer jasno kaže na zapletene razmere in težavno reševanje vodne oskrbe, če pravočasno in stalno ne ščitimo kraških vodnih virov.

Posebno vprašanje so same zaščitne mere in ukrepi ter njihovo izvajanje. Doslej še niso jasno določene norme za zaščito hidrografskih zaledij kraških vodnih virov. To je na eni strani pogojeno s preskromnim poznavanjem podzemeljskih vodnih zvez in načina pretakanja voda v krasu, na drugi strani pa z razsežnostjo zaledij ter skromnimi izkušnjami o neposredni povezanosti vzrokov in posledic onesnaženja kraških voda. Za temeljito zaščito bo potrebno še precej podrobnega študija pa tudi izkušenj, saj bo treba za vsako območje posebej ugotoviti najugodnejše razmerje med zavarovanjem in čiščenjem voda.

Zusammenfassung

DIE HYDROGEOLOGISCHEN EINGENHEITEN DES EINZUGSGEBIETS DER BELA BEI VRHNİKA UND DAS PROBLEM DER AUSNUTZUNG VON KARSTWÄSSERN FÜR DIE WASSERVERSORGUNG

Die kleinen Quellen des Ursprungsgebietes der Bela im Triasdolomit westlich von Vrhnika, welche die Wasserleitung des Städtchens unter Gravitationsdruck speisen, sind nicht mehr imstande, den stetig wachsenden Bedarf an Trinkwasser zu decken. Zu zusätzlicher Versorgung wurde zwar die ergiebige, inmitten der Stadtsiedlung gelegene Karstquelle Primcov studenec gefaßt, doch unterliegt diese immer stärkerer Verschmutzung und ist ungenießbar, weil das Wasserwerk über keine Klärvorrichtung verfügt. Hydrogeologische Untersuchungen haben nun auf die Möglichkeit einer vollkommeneren Erschließung guten Dolomitwassers hingewiesen, welches unter Gravitationsdruck Vrhnika versorgen könnte. Zusätzlich wurden auch die Möglichkeiten einer Nutzbarmachung von Karstwässern außerhalb der Siedlung untersucht.

Wegen des ungleichmäßigen Wasserhaushalts und der Verkarstung des Dolomits und des benachbarten Kalkgebietes ist es nicht möglich, die Wässer des Belatales westlich von Vrhnika zur Gänze auszunutzen. Ein Teil der Wässer versinkt in die verkarsteten, unter den Triasdolomit gelegenen Jurakalke. Die verkarstete Talsohle der Bela erschwert den Bau eines Staubeckens, welches den Wasserhaushalt, welchen auch die intermittierende Quelle Lintvern (Lindwurmquelle) stark beeinflusst, ausgleichen könnte. Das Einzugsgebiet der Bela eignet sich zwar vorzüglich zur Inanspruchnahme des Wassers vor Verschmutzung, viel schlechter sind aber diesbezüglich die Verhältnisse des Hinterlandes der um bedeutendes ergiebigeren Karstquellen Primcov studenec und Hribski potok beiderseits des Belatales. Die Qualität des Wassers dieser Quellen wird sowohl durch das anliegende als auch das weitere Hinterland beeinflusst. Hierbei ist das weitere Hinterland des Primcov studenec weniger gefährdet als jenes des Hribski potok, welches sich über ein ausgedehnteres, besiedeltes, Karstschwinden durchsetztes Gebiet erstreckt.

Eingehende hydrogeologische Untersuchungen im anliegenden Hinterland beider Quellen haben gezeigt, daß die Karstwässer im Untergrund des Belatales untereinander zusammenhängen. Dieser Zusammenhang macht sich besonders bei Niedrigwässern bemerkbar, weil wir zu ihrer Zeit die Ergiebigkeit des Primcov studenec durch Stauung des Hribski potok beeinflussen können. Bei Hochwässern sind jedoch die Unterschiede in der Speisung beider Quellen stärker, so daß sich die Eigenheiten der beiden voneinander getrennten Gebiete stärker geltend machen und sich das in der Menge und Qualität des Wassers widerspiegelt.

Die hydrologischen Eigenheiten des Karstes beiderseits des Belatales sind durch den geologischen Bau und die jungpleistozäne Entwicklung des tektonischen Beckens des Moores von Ljubljana bedingt. Die einstigen Hauptkanäle des Untergrundes sind bei den Quellen durch quartäre und holozäne Aufschüttungen verrammelt, so daß die Wässer durch engere Risse und Klüfte zur Oberfläche vordringen. Im Hinterland des Primcov studenec ist ein beträchtlicher Druck der Karstwässer zu verspüren, schwankt doch der Wasserspiegel der Quelle selbst um kaum 0,5 m, gut 500 m vor der Quelle jedoch um 10 m. Weil sich die Karstoberfläche im engeren Hinterland des Primcov studenec nur wenige Meter über dem normalen Karstwässerniveau befindet, beeinflussen die Niederschläge das Niveau und die Qualität des Wassers verhältnismäßig

schnell. Die zahlreichen Dolinen des Gebietes sind bei Hochwässern überflutet und das Wasser hält sich in ihnen gewissermaßen in kleinen Estavellen auf: durch senkrechte Klüfte aufsteigend überflutet es die Dolinen und fließt zurückweichend durch dieselben Klüfte ab.

Zu den angeführten negativen hydrologischen Eigenheiten des Hinterlandes der Quelle Primcov studenec gesellt sich noch das rasche Wachstum der Siedlung, die immer weiter in das niedrige Karsthinterland der Quelle vordringt. Die Notwendigkeit der Erschließung von Karstwässern in entsprechender Entfernung von der Quelle, außerhalb des Wohngebietes und in Geländerverhältnissen mit womöglich geringem Einfluß der Versickerung von der Oberfläche her ist offenkundig. Aufgrund dieser Kriterien ist das behandelte Gebiet für weitere hydrogeologische Untersuchungen, Bohrungen und Pumpversuche ausersehen worden. Durch diese Arbeiten soll die beste Stelle für eine neue Erschließung des Karstwassers bestimmt werden.

Während der Untersuchungen der für die Wasserversorgung der Stadt Vrhnika in Betracht kommenden Quellen hat sich wiederholt gezeigt, daß der Karst als kostbarer Trinkwasserlieferant zu werten ist, daß sich aber nicht alle Karstquellen gleichermaßen für die Wasserversorgung eignen. Vor allem ist die Lage der Quelle, ihre horizontale und vertikale Entfernung vom Mittelpunkt des Verbrauchergebietes von Bedeutung. Stellenweise muß das Karstwasser in großer Höhe gepumpt oder aus einer weit entfernten Quelle herbeigeleitet werden; auch die Lage inmitten eines Wohngebietes ist nicht günstig. Bedeutende Schwierigkeiten bereiten Quellen mit stark schwankender Ergiebigkeit, besonders natürlich solche, welche während der Dürrezeit versiegen. Für die Wasserversorgung sind Quellen mit ständigem Wasserhaushalt geeigneter. Außer der Wassermenge ist auch die Qualität des Wassers von Bedeutung; sie hängt vor allem vom Charakter des Karsthinterlandes ab. Günstiger sind Wässer aus unbesiedeltem Tiefkarst, am wenigsten geeignet solche aus bewohntem Flachkarst mit Karstschwinden im Hinterland. Manche Mängel einer Karstquelle können korrigiert werden, doch ist jede künstliche Verbesserung des Wasserhaushalts und der Wasserqualität mit beträchtlichen Anstrengungen verbunden, oft nicht zuverlässig, meistens aber sehr kostspielig. Für jede derartige Maßnahme ist unbedingt eine genaue Kenntnis des Karsthinterlandes und der unterirdischen Speisung der gewählten Quelle nötig.

Literatura in viri

- B u s e r, S. 1965: Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. *Geologija* 8, 34—57. Ljubljana.
- Č a d e ž, N. 1952: Barvanje ponikalnice Logaščice v letu 1951. *Geografski vestnik* 24, 177—189. Ljubljana.
- G a m s, I. 1962: Slepe doline v Sloveniji. *Geografski zbornik* 7, 263—306. Ljubljana.
- G a m s, I. 1965: Aperçu sur l'hydrologie du Karst Slovène et sur ses communications souterraines. *Naše jame* 7, 51—60. Ljubljana.
- G a m s, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknjskim poljem. *Acta carsologica* 4, 5—54. Ljubljana.
- G a m s, I. 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih tokov na primeru ozemlja med Cerknjskim in Planinskim poljem. *Acta carsologica* 5, 171—187. Ljubljana.
- G a v r i l o v i ć, D. 1967: Intermitentni izvori u Jugoslaviji. *Glasnik SGD* 47, 1, 13—36. Beograd.
- G è z e, B. 1965: Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires. *Chronique* 7, 9—39. Montpellier.

- Gospodarič, R. 1968: Geologija okolice Zaplane. Vodni viri za oskrbo Vrhnike. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Habe, F. 1937: Toplinski odnošaji na izvirih Ljubljane. Geografski vestnik 12/13, 53—61. Ljubljana.
- Habič, P. 1970: Intermitentni izvir Lintvern pri Vrhniki. Acta carsologica 5, 189—203. Ljubljana.
- Habič, P. 1973: K hidrologiji Cerkniškega jezera, spremljava poskusa 1969—1972. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Habič, P. 1973 a: O razvoju krasa in podzemeljske cirkulacije v porečju Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 1, 18—32. Ljubljana.
- Habič, P. & R. Gospodarič 1974: Nekaj osnovnih podatkov o zaledju kraških izvirov Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 2, 3—22. Ljubljana.
- Hočev ar, A. —: Hidrografske razmere na Notranjskem krasu. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Hočev ar, A. 1946: Podatki o možnosti vodne preskrbe na Krasu za sektor zahodno od Ljubljane. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Jenko, F. 1954: Ekspertiza o vodnogospodarski preučitvi področja Vrhnike s posebnim ozirom na vodno oskrbo. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Jenko, F. 1959: Hidrogeologija in vodnogospodarstvo krasa. DZS, 1—237. Ljubljana.
- Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba Idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija 12, 5—72. Ljubljana.
- Novak, D. 1966: Zaganjalke. Varstvo narave 5, 15—28. Ljubljana.
- Opačić, S. & D. Markič 1974: Epidemija virusnega hepatitisa na Vrhniki 1971 do 1972 (I. Epidemiološka analiza). Zdravstveni vestnik 43, 1, 15—17. Ljubljana.
- Putick, W. 1903/1904: Die Lindwurmquelle bei Oberlaibach. Sabdr.: Die Erdbebenwarte 3, 1-2, 1—6. Ljubljana.
- Schönleben, J. L. 1681: Carniolia antiqua et nova, 1, 181. Laibach.
- Šerko, A. 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. Geografski vestnik 18, 125—139. Ljubljana.
- Šerko, A. 1951: Ljubljana (Geološki in kraški opis). Geografski vestnik 23, 3—16. Ljubljana.
- Urbanistični inštitut SRS, 1967. Urbanistični program občine Vrhnika. Rokopis, Arhiv SO Vrhnika.
- Valvasor, J. V. 1689: Die Ehre des Herzogthums Krain. Nürnberg (Novo mesto, 1877), 594—600.
- Wester, J., 1942. Vrhniki Lintvern nekdanj in sedaj. Planinski vestnik 20, 3/5, 33—41. Ljubljana.
- Zupan, M. 1974: Poročilo o fizikalno kemijskih analizah voda, 3. del. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 3, 14—17. Ljubljana.
- Žibrik, K. & A. Pečnin 1973: K hidrologiji kraškega porečja Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 1, 3—7. Ljubljana.