

## Geološka osnova zaštite podzemnih voda u kršu

Stjepan BAHUN

*Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet,  
Socijalističke revolucije 8, YU—41000 Zagreb*

**Ključne riječi:** Krš, Podzemne vode, Zaštita

**Keywords:** Karst, Underground waters, Protection

Zaštita podzemnih voda u kršu dovodi do potrebe određivanja slivova krških izvora. Na primjeru krškog terena u Maloj Kapeli (Hrvatska) izdvojena su tri sliva veoma sličnih hidrogeoloških karakteristika, ali različitog stupnja definiranosti. To su: A) definiran sliv u kojem se odmah na osnovi hidrogeološke interpretacije postojećih podataka mogu planirati daljnje akcije u vezi sa zaštitom i iskorištavanjem podzemnih voda; B) djelomično definiran sliv s potrebom manjih dodatnih istraživanja na užem prostoru; C) nedefiniran sliv u kojem su na širem prostoru potrebna dugotrajna istraživanja s neizvjesnim krajnjim rezultatom.

Protection of the underground waters in karst implies the necessity of definition of drainage areas related to the karst springs. The three drainage areas with very similar hydrogeologic characteristics, but with different degree of definition are differentiated in the karst area of Mala Kapela (Croatia). These are: A) The defined drainage area where it is possible to plan further protective actions and use of the underground waters on the basis of hydrogeologic interpretations of the present data; B) The partly defined drainage area with the need for minor explorations of the limited area; C) The undefined drainage area in which the long-term explorations are needed at the larger area with the uncertain final results.

### UVOD

Hidrogeološka istraživanja provedena u svijetu i kod nas dosad su dala rezultate prema kojima se zaštita podzemnih voda od onečišćenja u oblastima krša mora nedvosmisleno tretirati izvan uobičajenih i važećih normi koje se prilikom istraživanja primjenjuju u ostalim područjima. Dokazano je, naime, da je hidrogeologija krša veoma specifična i da prilikom istraživanja ne trpi sheme i detaljnije kategorizacije, već ju je potrebno, dakako, poštujući opće priznate premise, uvijek rješavati na konkretnim podacima i u svakom problemu posebno. Primijenjeno na naše krško područje to bi značilo, da se u okvirima tektogenetske klasifikacije krša (Herač, 1977), zatim prema ocjenama hidrogeološke funkcije terena (Bahun, 1968) i na kraju prema postojećim rezultatima trasiranja podzemnih vodnih veza, u prvoj fazi istraživanja mogu približno odrediti slivna područja krških izvora, ili ono što je

važno u vezi s ovim radom, površine s kojih bi podzemne vode nekog krškog izvora mogle biti onečišćene.

Pomoću praćenja trasera u čitavom krškom području naše zernlje ustanovljene su podzemne vodne veze na veoma velike udaljenosti. U jadranskom slivu su tako između ostalih dokazane veze npr. u Istri od Pazina do doline Raše (oko 30 km), u Hrvatskom Primorju od Grobnika do Rijeke (oko 7 km), zatim od Ličkog i Gackog polja do priobalja kod Senja (oko 27 km), od zaleđa do obale u području Splita (neposredno od oko 20 km, posredno do oko 50 km), od Popovog polja do obale južno od ušća Neretve (oko 20 km) i dr. Isto tako u crnomorskom slivu ima veza od 10 do 20 km, pa i dužih kao npr. između Postojne i Ljubljance, Ličke Jesenice i Slušnice, Krbavskog polja i Bihačkog polja, Glamočkog i Kupreškog polja s izvorima Plive itd.

Iz izloženog izlazi da u krškom području gotovo i nema dijela terena koji ne bi mogao biti izložen onečišćenju, a da se onečišćenje ne bi pojavilo nizvodno u slivu, pa sve upućuje na velike teškoće, a u velikom broju slučajeva na nemogućnost zaštite podzemlja od onečišćenja. Dodamo li k tome pojavu da se onečišćene vode zbog kratkog boravka u sekundarno poroznom krškom podzemlju neće autopurificirati kao u ostalim terenima (čak će i biokemijski razgradiva onečišćenja ostati nepromijenjena), izlazi da su od onečišćenja sigurni jedino oni izvori u čije sabirno područje ne poniru onečišćene vode. Takvih je područja u prirodi danas, dakako, veoma malo, pa su mogućnosti da se ona i znanstveno obrade, sve manje.

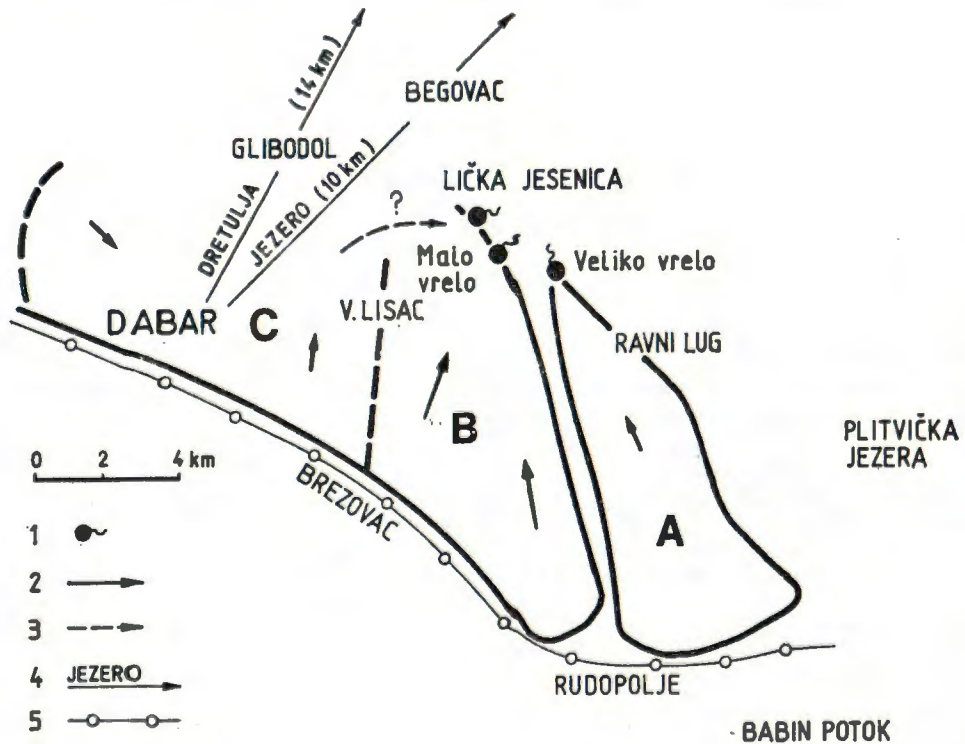
Ipak, smatramo, da jedno od takvih zasad od znatnijeg onečišćenja pošteđeno područje, postoji u Lici između Dabra, Ličke Jesenice i Rudopolja, koje počinje neposredno od razvodnice jadranskog i crnomorskog sliva (Babin potok) i prostire se dalje prema sjeveru i sjeveroistoku do Begovca, Ličke Jesenice i Ravnog luga, pa prema tome pripada crnomorskom slivu (Sl. 1 i 2).

Taj dio Like obrađivan je geološki i hidrogeološki već i ranije (Herak, 1956; Bahun, 1968; Velić, Bahun, Sokač & Galović, 1974; Polšak, Juriša, Šparica & Šimunić, 1985) a za potrebe vodoopskrbe obrađeno je i namjenski (Bahun, 1988), čime su prije dispergirani rezultati sakupljeni i sintetizirani. Inicijator potonje studije, koja je bila osnova za ovaj rad, bio je D. Delić, dipl. inž. geologije (SVIZ za sliv Kupe i izvorišta Une iz Karlovca), pa mu najtoplije zahvaljujem na suradnji.

#### HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENA

Podaci za ovdje iznesene interpretacije uzeti su, kako je spomenuto iz dosad objavljenih radova navedenih u Uvodu i to geološki podaci iz Osnovne geološke karte SFRJ list Otočac (Velić, Bahun, Sokač & Galović, 1974) i list Bihać (Polšak, Juriša, Šparica & Šimunić, 1985) i rada Bahuna (1968), a hidrogeološki podaci iz radova Heraka (1956).

Prema ovim radovima teren je izgrađen od slijedećih litostratigrafskih članova:



Sl. 1. Slivovi izvora u području Ličke Jesenice

- A Definiran sliv Velikog vrela
- B Djelomično definiran sliv Malog vrela
- C Nedefiniran sliv područja Dabra

- 1 stalni izvor
- 2 smjer tečenja podzemnih voda
- 3 mogući smjer tečenja podzemnih voda
- 4 ustanovljena podzemna vodna veza
- 5 približan položaj razvodnice jadranskog i crnomorskog sliva

Fig. 1. Catchment areas of springs in environs of Lička Jesenica.

- A The defined catchment area of Veliko vrelo spring
- B The partly defined catchment area of Malo vrelo spring
- C The undefined catchment area of the Dabar region

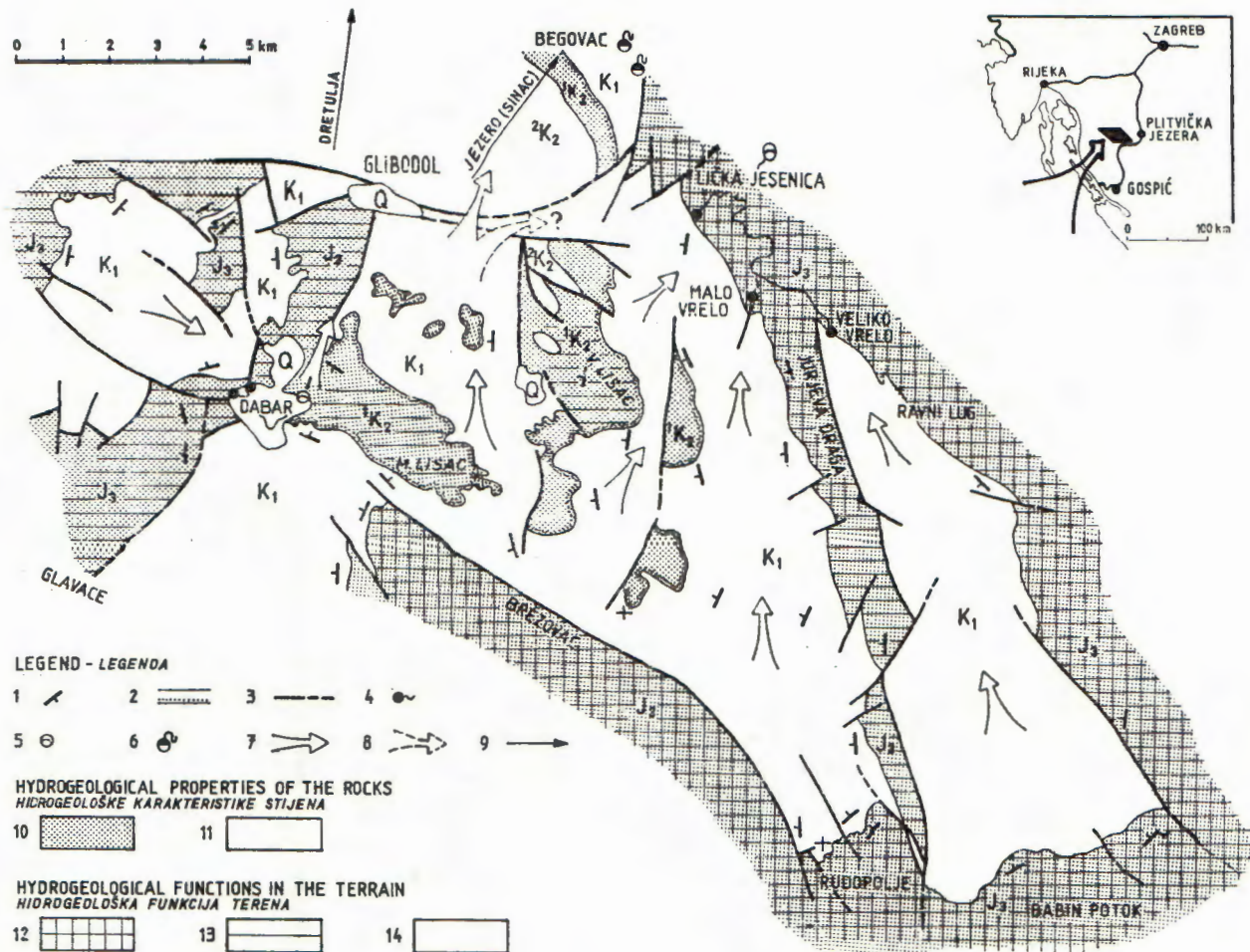
- 1 Permanent spring
- 2 Flow direction of underground waters
- 3 Possible flow direction of underground waters
- 4 Established underground water connection
- 5 Approximate position of the watershed between the Adriatic and Black Sea catchment areas

## Sl. 2 Hidrogeološka karta područja Ličke Jesenice

- 1 Položaj slojeva
- 2 Geološke granice — normalne i transgresivne
- 3 Rasjedi
- 4 Izvor
- 5 Ponor
- 6 Estavela
- 7 Smjer podzemnih otjecanja
- 8 Mogući smjer podzemnih otjecanja
- 9 Podzemne vodne veze utvrđene trasiranjem
- 10 Slabo vodopropusne stijene  
Dolomiti i dolomiti s lećama vapnenca malma i eventualno donje krede (J<sub>1</sub>); dolomiti i dolomitno vapnenačke breče gornje krede (K<sub>2</sub>)
- 11 Dobro vodopropusne stijene  
Uslojeni vapnenci donje krede (K<sub>1</sub>) i gromadasti vapnenci gornje krede (K<sub>2</sub>)
- 12 Potpuna barijera U cjelini prekida i sprečava dublju cirkulaciju podzemnih voda
- 13 Nepotpuna barijera Ne sprečava, ali usporava, regulira i usmjerava podzemna vodna otjecanja
- 14 Propusna područja Podzemna vodna cirkulacija omogućena bez značajnijih ograničenja

Fig. 2 Hydrogeologic map of Lička Jesenica region

- 1 Attitude of beds
- 2 Boundaries — normal and transgressive
- 3 Faults
- 4 Spring
- 5 Ponor (sink-hole)
- 6 Estavela
- 7 Direction of the underground flow
- 8 Possible direction of the underground flow
- 9 Water connection confirmed by tracing
- 10 Rock with the poor permeability  
Dolomites and dolomites with the lenses of Malmian and eventually Lower Cretaceous limestones (J<sub>1</sub>) Upper Cretaceous dolomites and dolomitic-calcerous breccias (K<sub>2</sub>)
- 11 Rock with the good permeability  
Lower Cretaceous bedded limestones (K<sub>1</sub>) and Upper Cretaceous blocky limestones (K<sub>2</sub>)
- 12 True barrier Cut and prevents deeper circulation underground waters
- 13 Relative barrier Does not prevent but slow-down, regulates and directs flow of the underground waters
- 14 Aquifers Underground water circulation is possible without any important restrictions



*Dolomiti malma* ( $J_1$ ) površinski okružuju donjokredne vapnence, a prostorno im leže u podini, sve od Begovca na sjeveru, preko Ličke Jesenice i Ravnog luga na istoku, Babinog potoka i Rudopolja na jugu, do Brezovca i Dabra na zapadu. Jedna uska zona ovih dolomita presijeca vapnenačku masu pružajući se od Ličke Jesenice preko Jurjeve drage do Rudopolja. Unutar dolomita mjestimično ima uložaka vapnenaca kao npr. u području Rudopolja, Babinog potoka i Dabra. Sudeći po fosilnim nalazima u vapnencima donje krede koji konkordantno leže na dolomitima, moguće je da najviši dijelovi dolomita pripadaju donjoj kredi. Citava dolomitna masa je, međutim, izdvojena kao jedan član, jer litološki čini jednu cjelinu. S obzirom na odnos prema vodama ovi se sedimenti mogu svrstati u cjelini u slabo vodopropusne naslage.

*Vapnenci donje krede* ( $K_1$ ) konkordantno slijede na dolomitima, na njima sinklinalno leže i zauzimaju centralni dio terena. Debljine su preko 800 m i nastavljaju se dalje na sjever izvan ovog terena. Površinski su okršeni i prema hidrogeološkim karakteristikama spadaju u dobro vodopropusne naslage.

*Dolomitno-vapnenačke breče i dolomiti gornje krede* ( $^1K_2$ ) leže transgresivno preko donjokrednih vapnenaca. Debljine su svega oko 200 m, pa u središnjem dijelu terena (Veliki i Mali Lisac i dr.) liče na erozijske ostatke. Iako slabije vodopropusni mala debljina im ne daje značajnije usporne funkcije.

*Rudistni vapnenci gornje krede* ( $^2K_2$ ) nalaze se na sjevernom dijelu terena kao manje pojave na dolomitno-vapnenačkim brečama. Sjeverno, izvan ovog područja ima ih znatno više. To su veoma vodopropusne naslage.

*Kvartarne naslage* ( $Q$ ) nalaze se u depresijama i uz površinske tokove u Dabru, Ličkoj Jesenici i u Glibodolu, a promjenjivih su hidrogeoloških karakteristika.

Tektonika u odnosu na postojeće prikaze nije reinterpetirana, iako su u novije vrijeme istaknute nove koncepcije o tektonici Dinarida (Herak, 1986) i makar su i u neposrednoj blizini ovog terena dokazani navlačni i reversni odnosi. To nije učinjeno iz dva razloga: prvo, jer bi za ozbiljniju tektonsku interpretaciju trebala daleko opsežnija terenska istraživanja, koja ovog puta nije bilo moguće izvesti i drugo, što je važnije, jer smo smatrali da reversna tektonika u ovom području nije utjecala na hidrogeološke odnose. Ako, naime, nje i ima, nalazi se dublje od položaja putova kojima se odvija današnja podzemna vodna cirkulacija. Stoga su u razmatranja uzeti samo dosad poznati površinski podaci, na osnovi njih je izvršena rekonstrukcija, tako da je osnovni tektonski »predcrtež« veoma jednostavan. Radi se, dakle, o jugoistočnom završetku prostrane sinklinalne u krilima i u čelu koje su dolomiti malma (pojas od Ličke Jesenice do Babinog potoka i Rudopolja i od Brezovca do Dabra), dok se u jezgri nalaze naslage donje i gornje krede (pretežno vapnenci i vapnenačko-dolomitne breče). Takva u osnovi sinklinalna struktura poremećena je mnogobrojnim rasjedima. Najvažniji i s hidrogeološkim posljedicama je dijagonalni rasjed duž kojeg su od Ličke Jesenice, Jurjevom dragom, pa do Rudopolja relativno izdignuti malmski dolomiti, čime je prethodno suvisla vapnenačka masa podijeljena na dvoje. Isto tako su dolomiti izdignuti poprečnim rasjedima koji se od Dabra pru-

žaju na sjever prema Glibodolu i na jug prema Glavacama. Izrazit je i uzdužan rasjed kojim su reducirane naslage krede u jugozapadnom krilu sinklinale i koji se od Rudopolja preko Brezovca vjerojatno nastavlja i izvan ovog terena. Osim spomenutih postoje rasjedi koji su poremetili tokove normalnih ili rasjednih granica, ali koji nemaju utjecaja na osnovnu tektonsku sliku, a samo lokalno utječu na hidrogeološke odnose.

#### HIDROGEOLOSKE FUNKCIJE PODRUČJA

Odnosi između hidrogeoloških karakteristika stijena, tektonike, prostornog i hipsometrijskog položaja geoloških tijela, morfologije, količine i rasporeda oborina i dr. uvjetuju hidrogeološku funkciju pojedinih dijelova terena, tako da se ovdje mogu razlikovati: potpune barijere, nepotpune barijere i propusna područja.

*Potpune barijere* u cjelini prekidaju i sprečavaju dublju podzemnu cirkulaciju voda, otjecanje je površinsko, a slabije infiltracije oborinskih voda u pripovršinske dijelove uvjetuju pojave manjih povremenih izvora. Posebnu zanimljivost ovdje predstavlja pojava da barijere izgrađuju malmski dolomiti. Njihova velika masa i u osnovi antiiformni položaj, uvjetuju da u cjelini funkcioniraju kao potpune hidrogeološke barijere i to u čitavom dolomitnom području obaju krila i čela sinklinale od Ličke Jesenice preko Babinog potoka i Rudopolja do Brezovca, kao i u sjevernom dijelu Jurjeve drage.

*Nepotpune barijere* ne sprečavaju u potpunosti podzemna otjecanja, ali, ovisno o geološkim uvjetima, reguliraju ih i usmjeravaju, pa otjecanja mogu biti zaobilazna, ispod ili usporeno kroz takva područja. Ona su ovdje izgrađena također od dolomita, ali prvenstveno malmskih koji u sebi imaju uloške vapnenaca, a zatim onih iz viših stratigrafskih dijelova koji pripadaju vjerojatno donjoj kredi. To su područja od Glavaca preko Dabra do Glibodola, zatim neki dijelovi Jurjeve drage i jedan dio dolomitno-vapnenačkih breča i dolomita na Velikom i Malom Liscu.

*Propusna područja* bez značajnijih ograničenja propuštaju sve oborinske vode u podzemlje i omogućavaju podzemno otjecanje, posebno u tektonski oštećenim pojasovima. Radi se o izrazito krškim terenima bez površinskog otjecanja. Ovdje su to vapnenačka i dijelom dolomitno-vapnenačka područja između Ličke Jesenice, Dabra i Rudopolja s otvorenom mogućnošću otjecanja podzemnih voda prema sjeveru, zatim u trokutu između Ličke Jesenice, Rudopolja i Babinog potoka i na kraju područje između Brezovca i Dabra.

#### TEČENJE VODA

Tečenje voda kao posljedica međusobnih odnosa područja izdvojenih prema hidrogeološkim funkcijama, u ovom se terenu očituje veoma markantno. Prije svega na kontaktima barijera s propusnim područjima pojavljuju se izvori.

U Jeseničkom polju na zapadu istječu Malo vrelo, Paskaševac i Gudura, a na jugu Veliko vrelo. Oni zajedno čine potok Ličku Jesenicu, koji

teče preko barijere do sjevernog kontakta s propusnim područjem gdje ponire s tim da se dio tih voda pojavljuje na izvoru Slušnice oko 14 km sjeveroistočnije.

U Dabarskom polju dva manja izvora na zapadnom obodu polja tvore površinski tok preko barijere, koji također ponire na sjeveroistočnom rubu, a ponorne vode pojavljuju se na Jezeru (Sinac) i na izvorima Dretulje u Plaščanskom polju (oko 10 km odnosno oko 14 km sjeverozapadno i sjeverno od ovog terena). Zasad veze ovih voda s izvorima u Jeseničkom polju nisu ustanovljene.

1. *Sliv Velikog vrela Ličke Jesenice* gotovo je u potpunosti definiran, a čini ga propusno vapnenačko područje opasano dolomitnom barijerom između Ličke Jesenice i Babinog potoka. Sve oborinske vode s ovog dijela terena brzo poniru u propusno podzemlje koje leži u nepropusnom dolomitnom »koritu«, teku prema sjeveru i sjeverozapadu, te se na najnižoj točki prelijevaju preko kontakta s barijerom i istječu na Velikom vrelu. Sasvim su male mogućnosti da u ovaj sliv dotječu kroz barijeru Jurjeve drage podzemne vode iz susjednog, zapadnog područja. Nikakvih hidrogeoloških mogućnosti, međutim, nema da bi vode iz ovog sliva otjecale u susjedna područja. Ovako zatvoreno i samo geološki definirano slivno područje izvora u kršu se susreće veoma rijetko, tako da se u njemu i bez egzaktnih istraživanja mogu predvidjeti mjere njegove zaštite od onečišćenja, može se planirati iskorištavanje voda i veoma dobro može poslužiti za znanstvena istraživanja u vezi s dinamikom podzemnih voda u dubokom kršu. S obzirom da danas u ovom području, koliko je poznato, nema značajnijih izvora onečišćenja, vode Velikog vrela su vjerojatno veoma kvalitetne i takvim bi ih se relativno lako očuvalo.

2. *Sliv Malog vrela* i ostalih manjih izvora veoma je dobro definiran dolomitnom barijerom od zapadnog ruba Jeseničkog polja, Jurjevom dragom od Rudopolja i odatle do Brezovca. Nešto se slabije može odrediti njegova zapadna razvodnica, ali je jako vjerojatno da pojas dolomitno-vapnenačkih breča i dolomita na Velikom Liscu i južnije od njega, usmjerava podzemne vode prema sjeveru, a ograničava cirkulaciju u pravcu istok—zapad. Kako je ovaj dio terena na sjeveru hidrogeološki otvoren, moguća su dotjecanja sa zapada prema Malom vrelu, što, međutim, dosadašnjim trasiranjem podzemnih tokova nije utvrđeno.

3. *Sliv Dretulje u Plaščanskom polju i Jezera (Sinac)* ovdje je obuhvaćen samo u najjužnijem dijelu. Vapnenci u području Dabra pa sve do Velikog Lisca leže na dolomitnoj podini, tako da sve vode otječu prema sjeveru. Dokazane podzemne vodne veze od Dabra do Jezera i Dretulje, a najvjerojatnije i jezera Begovac, ovaj dio terena svrstavaju, za ovaj prikaz, u nedefinirani sliv koji se nastavlja mnogo dalje prema sjeveru izvan ovdje prikazanog područja. Za nas je ovdje važna pojava da u zoni od Glibodola prema istoku nema hidrogeoloških prepreka otjecanju voda u sliv Malog vrela, čime bi se, dakako, mogućnosti onečišćenja Malog vrela povećale. Rezultati dosadašnjih površinskih istraživanja i trasiranja podzemnih vodnih veza ostavljaju sve pretpostavke mogućim: da do prelijevanja ne dolazi, da je ono stalno, ili da se dešava samo u vrijeme velikih voda.



## ZAKLJUČAK

U kršu se, kao što je uostalom i poznato, usprkos relativno dostatno riješenim hidrogeološkim odnosima, slivna područja pojedinih izvora mogu određivati s različitom točnošću. Stoga su i rezultati takvih osnovnih istraživanja različitog stupnja upotrebljivosti za planiranje zaštite ili iskorištavanja podzemnih voda. Na primjeru iz područja između Dabra, Begovca i Babinog potoka u Maloj Kapeli unutar zone Visokog krša, s tim su u vezi izdvojena tri područja, iako u posrednom međusobnom susjedstvu, ipak s različitim stupnjem mogućnosti definiranja slivova. Sva tri područja pripadaju crnomorskom slivu, a nalaze se neposredno uz razvodnicu s jadranskim slivom. Podzemne se vode formiraju isključivo od oborina, bez površinskih dotjecanja. Prema stupnju definiranosti razlikuju se:

A) *Definiran i zatvoren je sliv* Velikog vrela Ličke Jesenice. Propusno vapnenačko područje nalazi se unutar dolomitne barijere u trokutu između Ličke Jesenice, Babinog potoka i Rudopolja i sve oborinske vode koje padnu na taj dio terena poniru i istječu na Velikom vrelu. U okviru ovog sliva postoje, dakle, jasni i određeni svi početni parametri za planiranja u vezi sa zaštitom ili iskorištavanjem podzemnih voda.

B) *Djelomično definiran sliv* čini sabirno područje Malog vrela i drugih izvora uz zapadni rub Jeseničkog polja. Propusno vapnenačko područje nalazi se između dolomitnih barijera Jurjeve drage, Brezovca i Velikog Lisca. Zapadnu razvodnicu se ne može postaviti točno, a postoje mogućnosti da na sjevernoj strani, na kojoj je sliv otvoren, ovamo dotječu onečišćene podzemne vode sa zapada od Glibodola i Dabra i da imaju vezu s Malim vrelom. Za točno definiranje ovog sliva potrebna su dodatna istraživanja za utvrđivanje podzemnih vodnih veza sa zapadnim susjednim slivom.

C) *Nedefinirani sliv* predstavlja zapadni dio terena (područje Dabra) odakle podzemne vode otječu na sjever izvan ovog terena prema Plaščanskom polju i Jezeru (Sinac), a vjerojatno i prema Begovcu. U vezi s ovim radom nepoznate su sjeverozapadna i sjeverna granica sliva, a osim toga postoje mogućnosti da se vode u području Glibodoma prelijevaju u susjedni sliv Malog vrela. Za točnije definiranje sliva i za predviđanja u vezi sa zaštitom i iskorištavanjem voda, potrebna su opsežna istraživanja na širem području, jer su podzemne vodne veze ustanovljene na daljinama od najmanje 10—14 km (ponorske vode iz Dabra pojavile su se u Jezeru i na izvorima Dretulje).

S obzirom na veoma aktualan i još otvoren problem zaštite voda u kršu (određivanje zona sanitarne zaštite pitkih voda), s hidrogeološkog stajališta bi u krškim područjima trebalo ponajprije na osnovi postojećih geoloških, hidrogeoloških i hidnoloških podataka učiniti podjelu slivnih područja tako, ili slično tome, kako je učinjeno u ovom radu. Tek nakon toga može se početi sa specijalističkim, skupim i dugotrajnim istraživanjima, koja prethode planovima za zaštitu ili iskorištavanje podzemnih voda u kršu.

Iz takve prethodne analize proistječu osnovna saznanja o stupnju poznavanja primarnih (hidrogeološka funkcija terena) i sekundarnih (stu-

panj, vrsta i mehanizam onečišćenja, eksploatacija voda) karakteristika svakog sliva posebno, što čini podlogu za sva daljnja razmatranja kako o zaštiti tako i o eksploataciji vode u kršu.

Primljeno: 6. 1. 1989.

#### LITERATURA

- Bahun, S. (1968): Geološka osnova hidrogeoloških odnosa krškog područja između Slunja i Vrbovskog. *Geol. vjesn.* 21, Zagreb.
- Bahun, S. (1988): Pregledni prikaz hidrogeoloških odnosa sabirnih područja izvorišta Ličke Jesenice. Prirodosl.-matem. fakult., Zagreb.
- Herak, M. (1956): O nekim hidrogeološkim problemima Male Kapele. *Geol. vjesn.* 8—9, 19—37, Zagreb.
- Herak, M. (1957): Geološka osnova nekih hidroloških pojava u dinarskom kršu. II kong. geol. Jugosl. 523—539, Sarajevo.
- Herak, M. (1977): Tecto-genetic Approach to the Classification of Karst Terrains. *Krš Jugosl. Jugosl. akad. znan. umjetn.*, 9/4, 1—12, Zagreb.
- Herak, M. (1986): A New Concept of Geotectonics of the Dinarides. *Acta geol.* 16/1 (Prirod. istraž. Jugosl. akad. znan. umjetn. 51), 1—42, Zagreb.
- Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M. & Šimunić, A. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Bihać. Sav. geol. zav., Beograd.
- Velić, I., Bahun, S., Sokrač, B. & Galović, I. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Otočac. Sav. geol. zav., Beograd.

### Geological Basis of Underground Water protection in Karst

S. Bahun

As already known, the drainage areas of particular springs can be defined with the different accuracy, despite the relatively sufficiently resolved hydrogeologic relationships. Thus the results of such basic explorations have various degree of usefulness for the planing of protection or exploitation of the underground waters. In the area between Dabar, Begovac and Babin potok in Mala Kapela within the High Karst Zone; despite the intimate vicinity three areas are differentiated with the different degree of possibility to define drainage areas.

All three areas belong to the Black Sea drainage area, and are located very near the divide with the Adriatic drainage area. Underground waters accumulate exclusively from the precipitates, without the surficial flow. According to the degree of definition, the following drainage areas are distinguished (Figs. 1 and 2).

A) The defined and closed drainage area of Veliko Vrelo of Lička Jesenica. The permeable limestone area is situated within the dolomitic barrier, in the triangle of Lička Jesenica, Babin Potok and Rudopolje. All of the precipitates that fall on this area sink and spring on Veliko Vrelo spring. Within the limits of this drainage area there exist clear and defined all of the primary parameters for the planing of protection or exploitation of the underground water.

B) The partly defined drainage area is the catchment area of the Malo Vrelo spring and other springs along the western rim of Jeseničko polje. The permeable limestone area is located between the dolomitic barriers of Jurjeva Draga, Brezovica and Veliki Lisac. It is not possible to precisely locate the western watershed, and the drainage area is open at the north; so it is possible that polluted waters flow in from the west coming from Glibodol and Dabar and are connected with the Malo Vrelo spring. To define this drainage area, the additional explorations for definition of the underground water links with the neighbouring western drainage area are needed.

C) The undefined drainage area is located at the western part of terrain (Dabar area) from where underground waters flow to the north, out of this terrain towards Pleščansko polje and Jezero (Sinac), and likely towards Begovac. The northwestward and northern borders of drainage area are unknown, and there exist the possibility of waters decanting from the Glibodol area to the neighbouring drainage area of Malo Vrelo spring. For the more precise definition of drainage area and for anticipations related to the protection and exploitation of waters; there are needed more extensive explorations at the wider area, because the underground water links have been defined at the distance of at least 10—14 kms (the sinking waters from Dabar appeared in Jezero spring, and Dretulje spring in Plaščansko polje).

Related to the very current and still open problem of protection of waters in karst (i.e. definition of the zones of sanitary protection of the drinking water); from the hydrogeological point of view there should be first elaborated categorisation of the drainage areas in the karst terrains based on the present geologic, hydrogeologic and hydrologic data, according to the degree of their definition, in the same or similar way, as presented in this paper. Just after that should start specialist, expensive and long-lasting explorations, that precede the plans for the protection or exploitation of the underground waters in karst.

From such analysis there are deriving the general perceptions about the degree of understanding of the primary relations (the hydrogeologic function of the terrain) and secondary characteristics (the degree, type & pollution mechanism, water exploitation) of every particular drainage area, that presents the basis for all further considerations about the protection as well as exploitation of waters in karst.