

---

Ana Černok i Bojan Ristivojević

## Uticaj geološke građe na formiranje hemijskog sastava Đavolje vode

---

*Na severnim obroncima Radana, 7 km južno od Prolog Banje, nalazi se Đavolja varoš – zakonom zaštićen prirodni fenomen. Na ovom području vršena su geološka i hidrogeološka istraživanja radi određivanja međusobnog odnosa stena i podzemnih voda. Dobijeni rezultati pokazuju zastupljenost tri litološka člana na istražnom području: andezita, propilita i breča. Najprisutniji su propiliti, kako "sveži" tako i u različitim stadijumima površinskog raspadanja. U njihov sastav ulaze andezin, hlorit, epidot i slobodni kvarc. Veoma su zastupljeni i rudni minerali. U manjoj meri su zastupljeni andeziti, u čiji sastav ulaze andezin, hornblend, augit, biotit, apatit, a u malim količinama i slobodan kvarc. Breče, nastale vezivanjem raspadnutog propilitskog materijala, su najmanje zastupljene. U Đavoljoj varoši je formiran izvor Đavolje vode, koji pripada razbijenom tipu a sastavljen je iz više osnovnih gravitaciono-kontaktnih izvora. Hloridi u ovoj vodi potiču iz lako isparljivih komponenata magme. Poreklo sulfata je dvojako: oni nastaju oksidacijom vodonik-sulfida (koji potiče iz magme), kao i oksidacijom sulfidnih minerala u prisustvu vode. Ovim promenama sulfidnih minerala u vodu dospevaju i teški metali. Joni alkalnih i zemnoalkalnih metala vode poreklo iz odgovarajućih alumosilikata.*

---

### 1. Uvod

U doba neogena na prostoru između Srpsko-makedonske mase i Interne vardarske zone odvijao se intenzivan vulkanizam kojim je formiran Lecki vulkanogeni kompleks. U građi ovog kompleksa učestvuju andeziti sa oko 50, i andezitski piroklastiti sa oko 40 procenata. Među mnogobrojnim vulkanskim kupama koje su se izdvajale na ovom području, Đavoljevaroška je bila najveća. Na području ove kupe manifestovale su se postvulkanske pojave koje su izdejstvovale različite promene postojećih stena, pri čemu su se u najvećoj meri obrazovali propiliti.

Đavolja varoš se nalazi na području nekadašnjeg neka (Pešut 1976). Ovo područje može biti veoma zanimljivo sa aspekata raznih naučnih disciplina. Geološki posmatrano, građa ovog lokaliteta je veoma kompleksna.

---

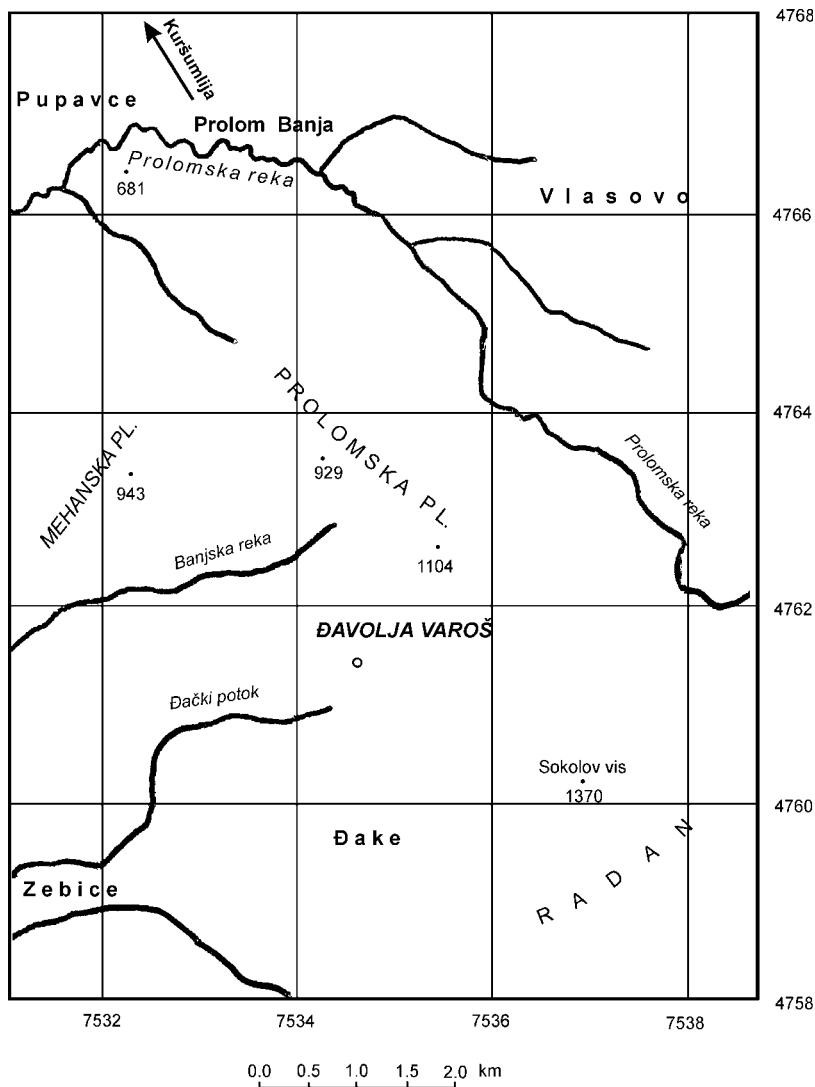
Ana Černok (1985),  
Pančevo, Matije  
Bjelca 5/12, učenica  
3. razreda Gimnazije  
"Uroš Predić" u  
Pančevu

Bojan Ristivojević  
(1985), Baroševac,  
Prvi reon 18, učenik  
3. razreda, Gimnazije  
u Lazarevcu

Veliku pažnju privlači i podzemna voda koja se po svojim osobinama veoma razlikuje od podzemnih voda okolnih terena. Upravo je ta činjenica dala glavni podsticaj za ovo istraživanje čiji je cilj da se utvrde interakcije stenske mase i podzemne vode.

### 1.1. Opis istraživanog područja

**Fizičko-geografski položaj.** Đavolja varoš se nalazi na severnim obroncima planine Radan, oko 7 km južno od Prolog Banje. Ovo područje pripada opštini Kuršumlija (slika 1).



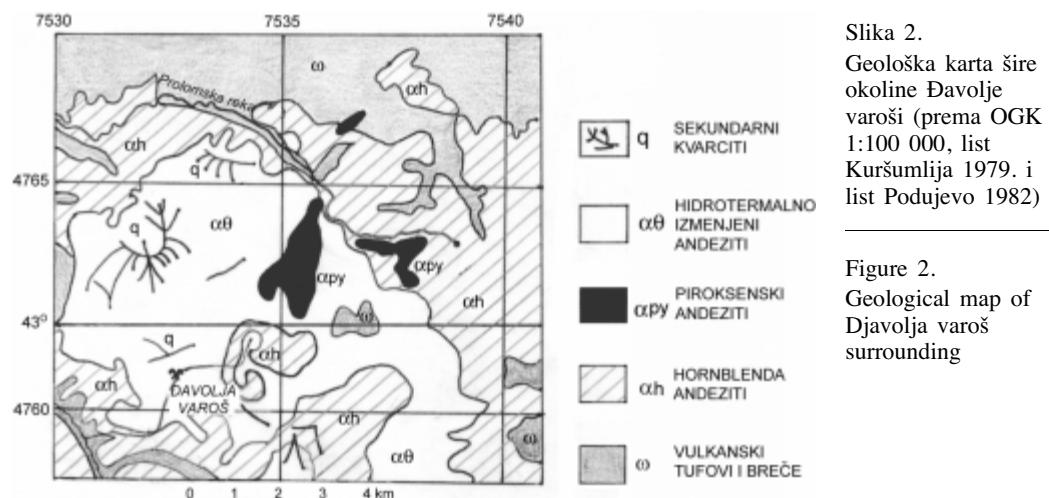
Slika 1.  
Geografski položaj  
Đavolje varoši  
(prema topografskoj  
kartici 1:50 000, list  
Kuršumlija 4 i list  
Priština 2, 1985. god.)

Figure 1.  
Position of Djavolja  
varoš

**Geomorfološka svojstva.** Na celokupnom Leckom masivu su prisutne paleovulkanske kaldere reaktiviranog tipa. Među njima je najveća Đavoljevaroška kaldera čiji prečnik iznosi 25 km. Ona je, kao i sve ostale, u potpunosti razorena dejstvom egzogenih sila (Protić 1995). Đavolja varoš je smeštena na padini i zahvata površinu od  $4500 \text{ m}^2$ . Ona obuhvata dve veće jaruge, Paklenu i Đavolju, na čijim su stranama formirane "zemljane piramide" (glavuci), koje su nastale proluvijalnim procesima. Ove "zemljane piramide" dostižu visinu i do 15 m, i na njihovim vrhovima se nalaze andezitski blokovi (Maćejka 1985). Ovaj prirodnji spomenik je zbog svoje retkosti zaštićen zakonom.

**Geološka i hidrogeološka svojstva.** Najvažniju ulogu u formiranju geološke građe ovog područja imale su postvulkanske pojave koje su delovale na neogene andezite. Hidrotermalni rastvori, pare i gasovi su propilitsale andezite u različitoj meri (Pešut 1976). Alteracija se ogleda u silifikovanju, hloritisanju, kaolinisanju, epidotizaciji itd. Propiliti zahvataju kompleksne malog vertikalnog i velikog horizontalnog rasprostranjenja (slika 2) i veoma su podložni daljim preobražajima (1976). Promene kojima oni podležu su postepene, pa se može razlikovati više faza. Pod dejstvom atmosferske vrućine pirit oksidiše, pri čemu se stvara sumporna kiselina koja razara postojeće minerale. Feldspat kaoliniše, kiselina izbeljuje bojne minerale, tako da stena tokom vremena prelazi u beličastu, trošnu masu, veoma sličnu sekundarnim kvarcitima. Zapažena su i orudnjenja teških metala i to olova, cinka, bakra, zlata i srebra, nikla i aluminijuma (TOGK, listovi Kuršumlija 1979 i Podujevo 1982).

U Đavoljoj varoši je formiran samo jedan izvor, čija je izdašnost veoma slaba i u direktnoj je vezi sa atmosferskim padavinama. Poreklo Đavolje vode je označeno kao vulkansko, ali je pritom posebno naglašeno da se vulkanska voda u tankom poroznom sloju propilita meša sa atmosferskom vodom (Vujanović 1983).



Slika 2.  
Geološka karta šire okoline Đavolje varoši (prema OGK 1:100 000, list Kuršumlija 1979. i list Podujevo 1982)

Figure 2.  
Geological map of Djavolja varoš surrounding

## 1.2. Ranija istraživanja

**Geološka istraživanja.** Podaci o vremenu metamorfizma i obliku stena u severnom delu Leckog andezitskog masiva nalaze se u radu M. Dimitrijevića iz 1963. godine. Prema njegovim podacima metamorfizam na ovom području je započeo odmah po prestanku vulkanskih aktivnosti. D. Pešut je još 1960. obradio metalogeniju ovog masiva i posebnu pažnju posvetio orudnjenjima olova, bakra i cinka. On je u blizini Đavolje varoš konstatovao sulfidna orudnjenja ovih metala. Isti autor je podelio vulkanskom na tri faze – amfibol andezitsku, piroksen andezitsku i andezit bazaltsku. Kasnije je detaljnije obrađivao istu problematiku uključivši procese formiranja i rasprostranjenja propilita. Utvrđio je da propiliti zauzimaju centralni deo Leckog masiva (Pešut 1976).

**Hidrogeološka istraživanja.** Veoma značajne podatke o kvalitetu podzemne vode Đavolje varoši i njenoj genezi dali su u svom radu iz 1976. M. Teofilović i V. Vujanović. Isti autori su ovu vodu okarakterisali kao vulkansko-descedentnu i ukazali da je sumporna kiselina, prisutna u ovoj vodi, vulkanskog porekla i da upravo ona inspirira iz okolnih stena značajne količine teških metala (Vujanović 1983). Hemski sastav Đavolje vode ispitivao je i Damjan Protić. Prema njegovom mišljenju voda predstavlja mešavinu razblažene sumporne i hlorovodonične kiseline sa visokim sadržajem gvožđa i aluminijuma. Voda potiče iz zone oksidacije određenih sulfidnih ležišta bakra, gvožđa i cinka. Njena mineralizacija je velika i iznosi  $9.09 \text{ g/dm}^3$ , a pH vrednost dostiže ekstremnu vrednost od 3.5. Zabeležena je temperatura vode od  $13^\circ\text{C}$  i veoma slaba izdašnost izvora od  $0.05 \text{ dm}^3/\text{s}$  (Protić 1995).

## 2. Metode

Tokom jula 2002. godine, na području Đavolje varoši su izvršena osnovna geološka i hidrogeološka istraživanja. Primjeno je geološko kartiranje po maršruti Prolom Banja – Đavolja varoš gde je praćeno rasprostiranje i smenjivanje nepromjenjenih andezita sa propilitima. Kartirani su karakteristični izdanci kod kojih su određivani svi elementi litoloških članova (sastav, starost, sklop). U sklopu hidrogeoloških istraživanja izvršeno je evidentiranje izvora, uzorkovanje vode i određivanje odgovarajućih parametara (boja, miris, ukus, mutnoća, temperatura vode, izdašnost i tip izvora). Uzorak je uzet oko 6 m nizvodno od mesta isticanja.

Nakon nedelju dana, metodama hidrohemiske analize, određen je hemski sastav Đavolje vode. Standardnim volumetrijskim metodama su određene koncentracije kalcijuma, magnezijuma, hlorida, bikarbonata i karbonata. Kolorimetrijskim metodama utvrđene su koncentracije sulfata i nitrotrata. Metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije određene su

koncentracije teških metala – gvožda, mangana, nikla, olova, kobalta, hroma, kadmijuma, cinka i bakra. Podatak o aluminiјumu uzet je iz literature (Protić 1995). Koncentracije natrijuma i kalijuma određene su metodom plamene fotometrije. Kvalitativnom hemijskom analizom utvrđen je hemijski sastav pojedinih taloga u zoni oticanja Đavolje vode.

Kabinetски deo istraživanja obuhvatio je sintezu, obradu i interpretaciju svih prikupljenih podataka.

### 3. Rezultati i diskusija

#### 3.1. Geološke i hidrogeološke karakteristike ispitivanog terena

Istraživanjem su dobijeni rezultati o zastupljenosti litoloških članova na istražnom području, njihovom mineraloškom sastavu, kao i o hemizmu podzemnih voda. Obradom podataka određeni su međusobni odnosi stenskih masa i Đavolje vode.

U geološkoj građi Đavolje varoši učestvuju propiliti i u manjoj meri andeziti i breče (Ristivojević 2002). U sastav andezita ulaze minerali: andezin, hornblenda, augit, biotit, apatit, a u malim količinama i slobodan kvarc. Osnovna masa andezita izgrađena je od feldspata. Do ovih podataka se došlo makropetrološkom analizom andezita koji danas postoje u široj okolini istražnog područja i na samom istražnom području. Pojedini minerali koji ulaze u sastav andezita podložni su dejstvu hidrotermalnih rastvora i pod njihovim uticajem prelaze u odgovarajuće minerale propilita. Propilitacija zahvata samo bojene minerale.

Na istražnom terenu najšire rasprostranjenje imaju propiliti (prema slobodnoj proceni izgraduju nešto više od 90 procenata terena). Oni su u velikoj meri erodovani i raspadnuti. U njima su prisutni minerali: andezin, hlorit, epidot, a ima i nešto više slobodnog kvarca nego kod andezita. Poteklo ovih minerala je različito. Dok su hlorit i epidot nastali dejstvom hidrotermalnih rastvora na biotit, augit i hornblendu, andezin i osnovna masa su ostali iz andezita. Veće količine slobodnog kvarca nastaju dejstvom hidrotermi na alumosilikate, augit i biotit.

U propilitima se nalaze i rudni minerali, koji su nastali direktnim taloženjem iz hidrotermalnih rastvora. Orudnjenja su impregnacionog tipa. Najčešći minerali su pirit, markasit, hematit, halkopirit, halkozin, burmonit, galenit i sfalerit (TOGK, listovi Kuršumlija 1979 i Podujevo 1982).

Pošto su propiliti veoma podložni površinskom raspadanju, najveću površinu istražnog područja zauzimaju upravo one stenske mase koje su ovim procesom zahvaćene. Uočljivi su propiliti u različitim stadijumima raspadanja, što je posledica njihovih postepenih promena. Razoreni su svi minerali izuzev kvarca. Sulfidni minerali pod dejstvom atmosferalija oksiđišu, pri čemu se stvara sumporna kiselina. Sumporna kiselina nastavlja

da deluje na ostale minerale. Andezin prelazi u minerale gline: kaolinit, nontronit i monmorionit. Ostale minerale sumporna kiselina razara, pa kao krajnji produkt ovih promena nastaju bele, porozne i neotporne mase slične kvarcิตima (Ilić, Karamata 1975).

Breče na istražnom području zauzimaju najmanje rasprostranjenje. One su najmlađi litološki članovi i nastaju vezivanjem raspadnutih propilita.

Teren pokazuje tendenciju ka razvoju u kvarcno-brečnu zonu, zbog velikog prisustva kvarca, alunita i piritu.

Đavolja voda na površinu izbija na nekoliko mesta pri čemu formira razbijeni tip izvora. Po izlivu, osnovni izvori su gravitaciono-kontaktni. Njihova izdašnost je veoma slaba (ispod  $0.01 \text{ dm}^3/\text{s}$ ), a javljaju se u vidu mestimičnog kvašenja stena. Od izvora se postepeno formiraju tokovi, koji se nakon desetak metara sastaju čineći tok većeg proticaja (ispod od  $0.1 \text{ dm}^3/\text{s}$ ). Glavni tok je dug oko 500 m (Černok 2002). Voda potiče iz pu-kotinske izdani formirane na većoj dubini, a u zoni propilita se meša sa atmosferskim talogom. Izmerena temperatura vode je iznosila  $22^\circ\text{C}$ , pri temperaturi vazduha od  $24^\circ\text{C}$ . Ovaj podatak dosta odstupa od prethodnih (Protić 1995). Boja vode bila je jedva primetno slabo žuta, ali se ta boja dužinom toka pravilno menjala do tamnijih žutih nijansi, što je posledica taloga gvožđa. Voda je izrazito neprijatnog i gorkog ukusa (podseća na sti-psu) i karakterističnog mirisa na metal. Izmerena je pH vrednost od 2.4 i elektroprovodljivost od 1250 S/cm koja ukazuje na povišenu mineralizaciju ( $9.67 \text{ g/dm}^3$ ). Ove vrednosti svrstavaju vodu u kategoriju jako kiselih, srednje mineralizovanih i vrlo tvrdih voda (opšta tvrdoća 40.3 dH). Prema hemijskom sastavu (klasifikacija po Alekinu) Đavolja voda je sulfatno-hloridno-kalcijumska, IV tipa, sa veoma visokim sadržajem gvožđa (Černok 2002).

Izvor Đavolje vode nije kaptiran, a vodu meštani koriste za zacepljivanje površinskih rana. Voda u tom slučaju deluje kao dezinfekciono sredstvo jer je njena pH vrednost 2.4.

U zoni oticanja Đavolje vode prisutni su talozi različitog hemijskog sastava. U velikoj meri je prisutan talog limonita, koji je crvenkaste boje. Limonit nastaje oksidacijom pirita iz stena u prisustvu vode, ali se kao veoma nerastvoran brzo taloži. Svojim prisustvom utiče na žučkastu boju vode. Mestimično su zastupljeni talozi sa visokim sadržajem sulfata, kalijuma, kalcijuma, aluminijuma, gvožđa i mangana. Ovi talozi su žučkasto-beličastih nijansi. Nastaju raspadanjem stena pod dejstvom vode ili sumporne kiseline, koja se oslobađa oksidacijom sulfidnih minerala. U zoni oticanja samo jednog od osnovnih izvora, uočen je talog plave boje, čiji hemijski sastav nije utvrđen.

### 3.2. Hemijski sastav vode

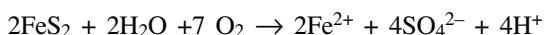
**Makrokomponente.** Najzastupljenije makrokomponente u Đavoljoj vodi su sulfati, hloridi i gvožđe.

Poreklo hloridnog jona nije vezano za minerale iz okolnih stena. Hloridi su najverovatnije vulkanskog porekla i potiču iz lako isparljivih komponenata magme, prvenstveno hlorovodonika. Njihova koncentracija je veoma velika (tabela 1) jer im je svojstvena velika migraciona sposobnost. Hloridi ne grade teško rastvorljive soli, pa se stoga ne talože na okolnim stenama. Disocijacija hlorovodonične kiseline dodatno obogaćuje vodu  $H^+$  ionima, čime je zakišeljava i time pospešuje njenu rastvaračku sposobnost.

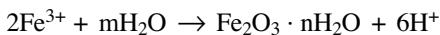
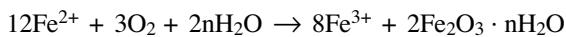
Poreklo sulfata je dvojako. Delom je verovatno vezano za proces vulkanizma, u kome se oslobađa vodonik-sulfid, a koji se u tim uslovima oksiduje do sumporne kiseline. Velika migraciona sposobnost kojom se odlikuju sulfati omogućava njihovu veliku koncentraciju u vodi (tabela 1). Drugi način postanka ovih jona je vezan za proces oksidacije sulfidnih minerala u prisustvu vode i kiseonika, kada se gradi sulfat metalja i izdvaja sumporna kiselina. Kiselina, koja se u ovom slučaju izdvaja, vrši destrukciju svih prisutnih minerala u stenama, izuzev kvarca. Slično hlorovodoničnoj kiselini, i sumporna kiselina disocijacijom dodatno obogaćuje vodu  $H^+$  ionima.

Imajući u vidu pH vrednost ove vode jasno je da ona ne može sadržati ni karbonate ni bikarbonate.

Koncentracija gvožđa je izrazito visoka (slika 3) što je posledica hemijskog raspadanja sulfidnih minerala u zoni oksidacije. Voda bogata kiseonikom razara i rastvara dosta prisutan pirit. Ovim procesima nastaje dvovalentno gvožđe koje je u kiseloj sredini veoma migrativno



Daljim reakcijama sa kiseonikom ono se oksiduje do trovalentnog oblika čija je migrativna sposobnost u uslovima niske pH veoma mala. U ovom stadijumu nastaje limonit, koji se taloži pošto je nerastvoran. Proces se odvija po sledećoj šemi:



U ovakvim procesima se oslobađa sumporna kiselina. Gvožđe nastaje i hemijskim raspadanjem, hidrolizom i oksidacijom, augita, hornblende, epidota, biotita i hlorita. Pri tom se odvijaju procesi znatno složenijeg mehanizma, a koji su zasnovani na prethodno opisanim.

Određene količine alkalnih i zemnoalkalnih metala (tabela 1) dospevaju u vodu tokom njenog kretanja kroz kompaktne andezite u dubljim vodonosnim slojevima. Poreklo ovih metala u Đavoljoj vodi je u najvećoj meri vezano za hemijsko raspadanje, hidrolizu, odgovarajućih alumosilikata, koja se odvija u tri faze. U prvoj se izdvajaju joni metala, u drugoj nastaju minerali gline, koji se u poslednjoj fazi raspadaju do oksida i hidratisanih oksida aluminijuma i gvožđa (Živković 1991).

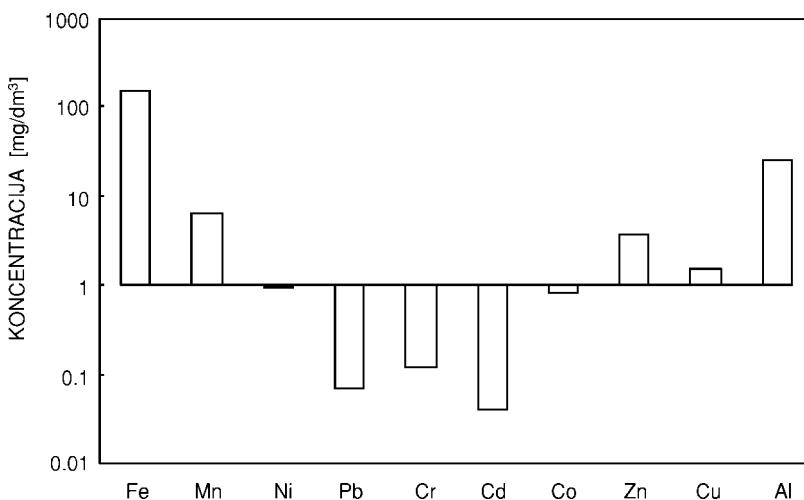
Tabela 1. Osnovni hemijski sastav Đavolje vode

Joni	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$
Koncentr. [mg/dm <sup>3</sup> ]	246	26	5.3	4.8	3840	0.00	0.00	5350	27

Hidroksidi aluminijuma i gvožđa se zadržavaju u vodi u koloidnim oblicima. Ovim se objašnjava povišena koncentracija aluminijuma u obliku  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (slika 3).

Koncentracija natrijuma nije velika, što se može objasniti malim prisustvom Na-alumosilikata (andezin) kao i time što je ovaj jon karakterističan za dublje vodonosne slojeve. Kalijum u vodu dospeva razaranjem veoma prisutnog biotita. Njegova koncentracija je uslovljena mineralima gline koji ga adsorbuju. Kalcijum se nalazi u blago povećanoj koncentraciji, što je posledica razaranja i raspadanja silikata koji ga sardže (augit, andezin, hornblenda, epidot, apatit). Iako je koncentracija sulfata i kalcijuma u vodi povišena, u okolini se ne izdvaja talog  $\text{CaSO}_4$ . To pokazuje da u vodi postoji hidogensulfat, koji je postojan u kiseloj sredini i sa kalcijumom gradi rastvorljivo jedinjenje. Magnezijum u vodu dospeva razaranjem i raspadanjem alumosilikata – hornblende, biotita, augita, epidota.

Nitrati u vodu dospevaju iz atmosferskih taloga, koji se u zoni propilita mešaju sa podzemnom vodom.



Slika 3.  
Koncentracije teških metala u vodi;  
podatak o aluminijumu je uzet iz literature.

Figure 3.  
Concentrations of heavy metals in water

**Mikrokompone.** U Đavoljoj vodi je primetna povišena koncentracija pojedinih teških metala, kao što su Mn, Ni, Cr, Co, Zn i Cu (slika 3). Rudni minerali ovih metala su produkt hidrotermalnih promena koje su se odvijale. Oni su se izdvajali iz hidrotermalnih rastovora i taložili bez određenog pravila na prostoru propilitisanih andezita. Najprisutniji njihovi min-

erali su sulfidi, koji u zoni oksidacije reaguju po opisanoj šemi (na primeru gvožđa) i vodu obogaćuju  $\text{SO}_4^{2-}$  ionima,  $\text{H}^+$  ionima kao i ionima teških metala. Za izrazito kisele vode pojava teških metala je jedna od osnovnih karakteristika (Živković 1991).

Dobijeni rezultati se u velikoj meri poklapaju sa ranijim istraživanjima, mada se volumetrijske metode, zbog prisustva velikog broja ometajućih jona u visokim koncentracijama, nisu pokazale adekvatnim za određivanje koncentracija hlorida, kalcijuma i magnezijuma. Za precizniju analizu ove vode trebalo bi primeniti selektivnije metode kada su u pitanju pomenute komponente.

Šema formiranja hemijskog sastava Đavolje vode je u tabeli 2.

Tabela 2. Šema formiranja hemijskog sastava Đavolje vode

Spoljašnji faktori	Komponente u vodi
1. Površinsko raspadanje minerala	
andezin	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$
hornblenda	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , Fe, Al
augit	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , Fe, Al
biotit	$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , Fe, Al
epidot	$\text{Ca}^{2+}$ , Fe, Al
hlorit	$\text{Mg}^{2+}$ , Fe, Al
apatit	$\text{Ca}^{2+}$
minerali glina	$\text{AlO}_3$
rude teških metala:	
– pirit, markazit ( $\text{FeS}_2$ )	Fe
– halkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ )	Fe, Cu
– halkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )	Cu
– burnonit ( $\text{PbCuSbS}_3$ )	$\text{Cu}$ , Pb + $\text{SO}_4^{2-}$
– galenit (PbS)	Pb
– sfalerit ( $\text{ZnS}$ )	Zn
2. Uticaj atmosferskih taloga	$\text{NO}_3^-$
3. Uticaj lakoisparljivih komponenata	$\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$

## 4. Zaključak

Najzastupljeniji joni u Đavoljoj vodi su hloridi i sulfati. Poreklo hlorida vezano je za vulkanizam područja. Sulfati imaju dvojako poreklo. Delom potiču od vulkanskog gasa vodonik-sulfida, a delom od sulfidnih minerala raspadnutih u zoni oksidacije. Iz sulfidnih minerala u vodu dospevaju i odgovarajući teški metali (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Zn, Cu). Razaranjem alumosilikata voda se obogaćuje natrijumom, kalijumom, kalcijumom i magnezijumom.

Specifičnost geološke građe bitno se ogleda u sastavu ove vode. Intenzivnim površinskim raspadanjem propilita, koji su na ovom području najviše zastupljena stena, biva razoren najveći deo alumosilikata i sulfidnih minerala. Elementi iz razorenih minerala dospevaju u podzemnu vodu u toku njenog mešanja sa atmosferskim talogom u zoni poroznih propilita.

Đavolja voda je jedan od glavnih agenasa koji menja izgled i hemizam stena, što je uslovljeno njenom izrazitom kiselošću i velikom koncentracijom sulfata koje sadrži. Kao produkt uzajamnog dejstva vode i stena javljaju se i različiti talozi u zoni oticanja ove vode.

**Zahvalnost.** Goranu Račiću iskazujemo veliku zahvalnost za pomoć pruženu tokom rada na terenu, a Velimiru Jovanoviću i Vladici Cvetković za stručnu pomoć tokom finalnog dela rada. Za značajnu tehničku pomoć zahvalni smo Miljanu Pavloviću.

## Literatura

- Černok A. 2002. Izveštaj o izvršenim radovima na temu: Razlike u kvalitetu podzemnih voda sa područja Prolom Banje i Đavolje varoši. Istraživačka stanica Petnica, Valjevo
- Ilić M., Karamata S. 1975. *Specijalna mineralogija*. Beograd: ICS
- Maćejka M. M. 1985. Geografsko-turistički položaj i prirodni uslovi za razvoj turizma u Prolom Banji. U *Glasnik Srpskog geografskog društva*, sveska LXV broj 1, (ur. S. M. Stanković). Beograd: Srpsko geografsko društvo
- Pešut D. 1976. *Geološki sastav, tektonska struktura i metalogenija Leckog masiva*. Beograd: Zavod za geološka i geofizička istraživanja
- Protić D. 1995. *Mineralne i termalne vode Srbije*. Beograd: Geozavod, posebna izdanja knjiga 17
- Ristivojević B. 2002. Izveštaj o izvršenim radovima na temu: Upoređivanje geološke građe Prolom banje i Đavolje varoši. Istraživačka stanica Petnica, Valjevo
- Tumač OGK, list Kuršumlija 1979.
- Tumač OGK, list Podujevo 1982.
- Vujanović V. 1983. *Banjske i mineralne vode Srbije*. Gornji Milanovac: Kulturni centar
- Živković D. M. 1991. *Pedologija* (prva knjiga). Beograd: Naučna knjiga

---

Ana Černok and Bojan Ristivojević

## Influence of Geological Composition on Forming of *Djavolja voda* Spring Chemical Content

*Djavolja varoš* is an object protected by law situated on the northern slopes of Radan-mountain, in southern Serbia (Figure 1). There are mainly propylites there and they are interesting because of their genesis and their copper, iron and other mineralisations. There are several small and one bigger spring of water of specific chemical and physical characteristics. The geomorphology is very interesting because there are many gorges. There are two large gorges – the Djavolja jaruga and the Paklena jaruga, as well as lots of small ones. At the slope of these gorges there is an extra rare relief shape, effected by proluvial waters. This contains 202 “land pyramids”.

The research was carried out in order to determine the influence of geological composition on the quality of underground water, which is called *Djavolja voda* (Devil's water). Geological and hydrogeological research was carried out in July 2002. Seven days later the chemical content of *Djavolja voda* water was determined by methods of hydrochemical analysis.

The results show that propylites are very disperse and that the minerals which they contain are almost totally destroyed. The complete situation on the field looks like quartz-breccia zone because there is a lot of quartz (originally from feldspates), alunite and caolinite (originally from coloured minerals) and pyrite (originally from hydrothermal solutions). The research showed high concentration of  $\text{Cl}^-$  ( $3840 \text{ mg/dm}^3$ ) and  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $5350 \text{ mg/dm}^3$ ). The concentration of some heavy metals (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Zn and Cu) is also higher than standard (Figure 3). According to the results, the research showed that the geological composition has an important influence on the concentration of present metals ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). They exist because of the decay of some aluminosilicates. Geological composition practically has nothing to do with the concentration of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  (they originate from gases in magma).

