

**USLOVI FORMIRANJA HEMIJSKOG SASTAVA
UGLJOKISELIH MINERALNIH VODA «MIVELA» IZ VELUĆA
(cilj i metodologija istraživanja)**

Dejan Milenić, Petar Papić, Branko Ivanković¹

Abstrakt: Teritorija Srbije je veoma bogata mineralnim, termalnim i termomineralnim vodama i na njenoj teritoriji se nalazi preko 250 ovakvih pojava. Iako je ovo ogroman potencijal, njemu nije posvećena dužna pažnja. Vrlo je malo mineralnih voda koje su detaljno istražene, a još manje onih kod kojih su izučeni uslovi i način formiranja hemijskog sastava. Pojava ugljikiselihi mineralnih voda "Mivela" iz Veluća vezana je za kontakt Srpsko-makodonske mase i Šumadijsko-kopaoničke zone. Složena geološka i tektonska građa ovog područja je razlog da se ovde formira voda sa veoma karakterističnim hemijskim sastav koji je jedinstven u svetskim okvirima. Tema ovog rada je da se odgovori na izuzetno složene uslove formiranja hemijskog sastava ovih voda koje se karakterišu povećanim sadržajem jona Mg^{2+} .

Ključne reči: Geneza mineralnih voda, metamorfiti, Veluće-Trstenik

UVOD

Šire područje istraživanja se nalazi u okolini Veluća koje pripada Centralnoj Srbiji. Ova oblast se nalazi u zoni sučeljavanja dve krupne geotektonske celine sa veoma složenom geološkom i hidrogeološkom građom. Ovakvi uslovi su doveli do formiranja voda sa veoma karakterističnim fizičkim i hemijskim svojstvima.

Tema ovog rada je da se razjasne uslovi i procesi koji dovode do formiranja hemijskih i fizičkih karakteristika ugljikisele mineralne vode "Mivela" Veluće.

Istraživnje uslova formiranja podzemnih voda je veoma bitno kako sa naučnog aspekta tako i sa aspekta racionalnog korišćenja ovih voda. Prilikom eksploatacije mineralnih voda veoma je važno poznavanje porekla i starosti ovih voda, zatim poznavanje zona prihranjivanja, cirkulacije i dreniranja ovih voda kao i procesa koji dovode do formiranja hemijskog sastava.

Jedna od najboljih metoda za određivanje uslova i procesa koji dovode do formiranja hemijskog sastava podzemnih voda je analiza hidrohemijskih koeficijenata. Korišćenjem određenih odnosa među jonovima u podzemnim vodama (%eqv) i njihovom analizom mogu se odrediti. Pored korišćenja hidrohemijskih genetskih koeficijenata veliki doprinos mogu dati i izotopske analize.

U ovom radu će biti prikazan primer korišćenja hidrohemijskih genetskih koeficijenata prilikom određivanja geneze ugljikisele mineralne vode "Mivela" Veluće.

¹ Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidrogeologiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija i Crna Gora

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Tokom izučavanja uslova formiranja hemijskog sastava ugljikosele mineralne vode "Mivela"-Veluće korištena je sledeća metodologija istraživanja:

- A) Predhodan (pred-terenska) istraživanja
 - 1. prikupljanje, odabir, analizu i reinterpetaciju postojeće fondovske i objavljene dokumentacije
 - 2. prikupljanje neopodnih podloga za istraživanja (topografske, geološke i hidrogeološke karte)
 - 3. definisanje ciljeva terenskih istraživanja
 - 4. teorijska priprema istraživanja (izučavanje hidrohemijskih koeficijenata)
- B) Terenska istraživanja
 - 1. geološko i hidrogeološko kartiranje šireg područja istraživanja
 - 2. kvalitativna i kvantitativna ispitivanja mineralnih voda
 - 3. uzorkovanje mineralnih voda za izradu hemijskih i izotopskih analiza
- C) Laboratoriska istraživanja
 - 1. izrada hemijskih analiza
 - 2. izrada izotopskih analiza
- D) Kabinski radovi
 - 1. obrada podataka hemijskih analiza
 - 2. izračunavanje odgovarajućih hidrohemijskih koeficijenata
 - 3. analiza i interpretacija dobijenih podataka

OPŠTE GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Geološki sastav i litosratigrafske karakteristike terena

Da bi se na adekvatan način sagledale geološke i hidrogeološke karakteristike šire okoline Veluća potrebno je posebnu pažnju obratiti na položaj područja istraživanja u odnosu na dve krupne geotektonske jedinice, Srpsko-makedonsku masu i Šumadijsko-kopaoničku zonu. Upravo se područje Veluća nalazi na granici i sučeljavanju ove dve jedinice, što karakteriše i izuzetno složenu geološku građu terena (slika1). Područje zahvaćeno istraživanjima sa aspekta određivanja načina formiranja i isticanja ugljikoselih voda u slivu Pasjačke reke u selu Veluće u zapadnom delu pripada Šumadijsko-kopaoničkoj zoni, dok se istočni deo istažnog terena prostire u okviru Srpsko-makedonske mase. Takođe treba istaći značaj postojanja neogenih naslaga koje prekrivaju obe ove geotektonske jedinice na krajnjim južnim i severnim delovima područja istraživanja.

U okviru istočnog dela područja istraživanja, koji pripada Srpsko-makedonskoj masi, najmarkantniji litološki članovi su kompleksi kristalastih škriljaca visokog stepena metamorfizma, koji su najverovatnije paleozojske starosti. U okviru heterogenog kompleksa ulazi širok spektar metamorfita među kojima preovlađuju liskun-kvarc-plagioklasni škriljci i sitnozrni gnajsevi u kojima se paralelno sa folijacijom nalaze ostaci litoloških članova: mermeri, amfiboliti i amfibolitski škriljci i kvarciti.

U okviru Šumadijsko-kopaoničke zone zastupljeno je razviće mezozojskih tvorevina, jurske i kredne starosti veoma heterogenog sastava. Jurski kompleks čine serpentiniti, za koje se pretpostavlja da su jurske starosti mada mogu biti i stariji, srednje do gornjejurske magmatske i sedimentne stene dijabaz-rožnjačke formacije, gornjejurska neritsko-sprudna facija titona i fliša, te jursko-kredni fliš.

Obe geotektonske jedinice prekrivene su na južnim i severnim stranama istražnog terena naslagama neogene starosti, uglavnom srednje i gornje miocenskim sedimentima i miopliocenskim sedimentima, koji uz kvartarne naslage čine najmlađe litološke članove na istražnom terenu.

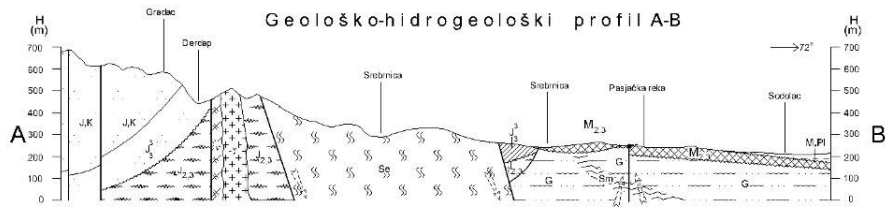
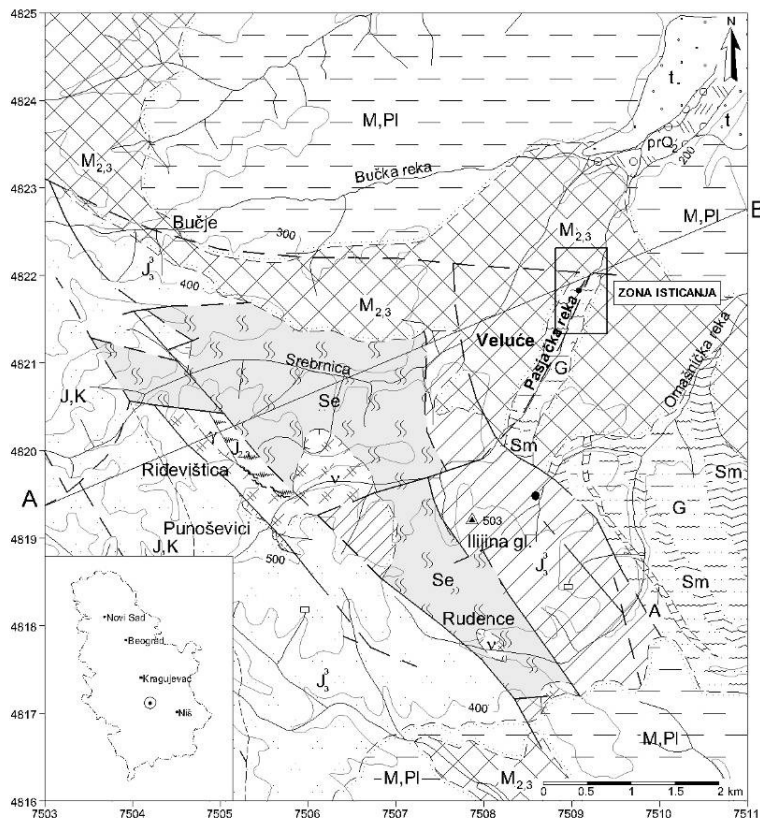
Tektonika terena. Na istraživanom terenu su zastupljeni delovi Srpsko-makedonske mase na istoku i Šumadijsko-kopaoničke zone (veći deo područja istraživanja) na zapadu, a granica između njih je tektonska zona Razbojna-Veluće, dok se kao posebno izdvojeno područje može smatrati područje neogene depresije južnog oboda kruševačkog basena. Rased Razbojna-Veluće predstavlja longitudinalnu rupturu horizontalnog tipa pružanja SSZ-JJI po kojoj je došlo do navlačenja škriljaca visokog stepena metamorfizma preko serpentinita i dijabaz-rožnjačke formacije (Rakić i ostali, 1976).

Hidrogeološka svojstva stena i prikaz zastupljenih tipova izdani

Već je pomenuta složena geološka i tektonska građa terena šire okoline Veluća. Velika litološka raznolikost i intenzivna tektonska poremećenost u kontaktnoj zoni između Šumadijsko-kopaoničke zone i Srpsko-makedonske mase prouzrokovali su niz hidrogeoloških specifičnosti. To se pre svega odnosi na hidrogeološku ulogu pojedinih litoloških članova, a među njima je najznačajniji paleozojski kristalasti škriljavi kompleks, koji je upravo glavna litološka i stratigrafska jedinica za formiranje ugljokiselih voda specifičnog hemijskog i gasnog sastava.

Na osnovu značaja pojedinih litoloških članova ili kompleksa, njihovog rasprostranjenja u planu i profilu, tektonskim karakteristikama, tipu poroznosti, uslovima prihranjivanja, cirkulacije i dreniranja podzemnih voda kao i prema hidrodinamičkim uslovima, u široj okolini pojava ugljokiselih voda Veluča, mogu se izdvojiti sledeći tipovi izdani koji su prikazani na slici 1 (modifikovano, Filipović i ostali, 1993):

- **Zbijeni tip izdani veće izdašnosti** u okviru aluvijalnih i terasnih zaglinjenih šljunkova i peskova, uglavnom sa slobodnim nivoom;
- **Zbijeni tip izdani manje izdašnosti** sa nivoom pod pritiskom (verovatno) u okviru slojeva peskova i šljunkova miopliocenske starosti;
- **Pukotinski tip izdani veće izdašnosti sa nivoom pod pritiskom** u okviru heterogenog paleozojskog kompleksa stena, sa nivoom pod pritiskom;
- **Pukotinski tip izdani manje izdašnosti** u okviru kompleksa serpentinita i spilita i flišnih sedimenata jurske i jursko-kredne starosti;
- **Karstno-pukotinski tip izdani** u okviru jurske serije krečnjaka, glinaca i peščara;
- **Uslovno bezvodni delovi terena**, odnosno, delovi terena u koje su svrstani sedimenti srednje i gornje miocenski sedimenti.



Legenda:

- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1) | 2) | 3) | 4) | 5) | 6) | 7) | 8) | 9) | 10) | 11) | 12) | 13) | 14) | 15) | 16) | 17) | 18) | 19) | 20) | 21) | 22) | 23) | 24) | 25) | 26) |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Legenda: 1) proluvijum-plavinski konusi (zbijeni tip izdani veće izdašnosti); 2) rečna terasa (zbijeni tip izdani veće izdašnosti); 3) gline, peskovi, šljunkovi i krečnjaci (zbijeni tip izdani manje izdašnosti); 4) peščari, konglomerati, gline i tufovi (uslovno "bezvodni" delovi terena); 5) fliš: peščari, laporci i krečnjaci (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 6) fliš: konglomerati i peščari (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 7) krečnjaci, glinci, laporci i peščari (karstno-pukotinski tip izdani); 8) plagiograniti (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 9) gabrovi (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 10) dijabazi i spiliti (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 11) dijabaz-rožnačka formacija: glinci, peščari, kračnjaci i konglomerati (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 12) serpentinisani peridotiti-osenčeno na karti (pukotinski tip izdani manje izdašnosti); 13) amfiboliti i amfibolitski škriljci (pukotinski tip izdani veće izdašnosti); 14) liskun-kvarc-plagioklasni škriljci (pukotinski tip izdani veće izdašnosti); 15) sitnozrni gnajsevi (pukotinski tip izdani veće izdašnosti); 16) normalna granica; 17) postupan litološki prelaz; 18) eroziona ili tektonsko eroziona granica; 19) transgresivna granica (na profilu); 20) granica magmatskog tela utisnutog u okolne stene; 21) rased bez oznake karaktera; 22) rasedna zona; 23) stalni vodotok; 24) izvor; 25) pravac kretanja podzemnih voda (predpostavljen); 26) područje istraživanja.

Slika 1. Šematizovana geološko-hidrogeološka karta šire okoline Veluča sa geološko-hidrogeološkim profilom A-B (modifikovano, OGK SFRJ list Kruševac, 1:100.000)

POJAVE I KVALITET UGLJOKISELIH MINERALNIH VODA «MIVELA» IZ VELUĆA

Isticanje ugljikoselim mineralnih voda tipa "Mivela" se obavlja iz nekoliko izvora manje izdašnosti kao i iz 3 istražno-eksploatacionih objekata. Trenutno se na levoj obali Pasjačke reke nalazi jedan izvor, neposredno uz reku, koji je kaptiran i karakteriše se izdašnošću od 0.1 – 0.3 l/s. Isticanje ugljikoselih mineralnih voda se vrši i preko dva piježometra (V-1 i V-2) i jednog istražno-eksploatacionog bunara (EBV-1/99). Na slici 1 je prikaza zona isticanja ugljikoselih mineralnih voda.

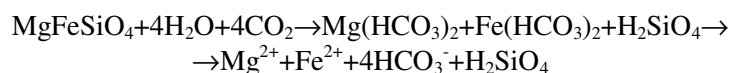
Iako su rezerve ugljikoselih mineralnih voda "Mivela" Veluće značajne, njihov hemijski sastav i fizičke osobine predstavljaju primarnu i glavnu vrednost. Na osnovu izučavanja **fizičkih osobina** može se reći da su mineralne vode Veluća bez boje i mirisa, sa osvežavajućim ukusom (Dimitrijević, 1975). Temperatura ovih voda je do 22°C. Prema **hemijском sastavu** ovo su hidrokarbonatno-magnezijumsko-natrijumске vode, sa sadržajem slobodnog CO₂ preko 2 g/l (Milenić i ostali, 2004). U pogledu **bakteriološkog sastava** može se konstatovati da su uzorci voda uzeti u 2004. godini bili ispravni. **Radiološki sastav** je u granicama normale.

USLOVI I PROCESI FORMIRANJA HEMIJSKOG SASTAVA UGLJOKISELIH MINERALNIH VODA «MIVELA» IZ VELUĆA

Formiranje hemijskog sastava Mivele blisko je vezano za komplekse visoko metamorfisanih stena paleozojske starosti (predstavljene gnajsevima, škriljcima, amfibolitima, kvarcitima itd) i serpentinisanih peridotita. Oba ova heterogena kompleksa nalaze se u intenzivnoj, tektonski aktivnoj zoni (slika 1). Na osnovu dosadašnjih istraživanja, pretpostavlja se da je pojavljivanje ovih voda vezano za ukrštanje rasednih struktura, pravca prostiranja ZSZ-IJI i S-J. Glavna rasedna struktura predstavljena je regionalnim rasedom Razbojna – Veluće, koji odvaja dva regionalna litostratigrafska kompleksa – Srpsko-Makedonsku masu i Šumadijsko-Koponičko-Vardarsku zonu.

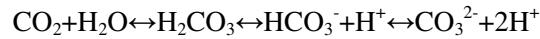
Podzemne vode tipa Mivela su infiltracionog porekla i duboko zaležu gde se obogaćuju mineralima. Hemijski sastav ovih voda upućuje na kontakt sa stenskim masama bogatim magnezijumom kao što su serpentiniti, serpentinisani peridotiti, peridotiti, duniti i gabro, kao što i jeste slučaj u okolini Veluća (slika 1, osenčen deo karte). Olivin je na istražnom području serpentinisani i to je jedna od ključnih činjenica u objašnjenju porekla mineralnih voda tipa "Mivela".

Minerali olivinske grupe imaju opštu hemijsku formulu X₂SiO₄, u kojoj X označava magnezijum i dvovalentno gvožđe (Ilić i Karamta, 1963). Magnezijumsko-gvožđeviti olivini, naročito predstavnici bogati magnezijumom, uvek sadrže i male količine nikla (potvrđeno na istražnom terenu). Reakcija olivina sa vodom u prisusvu CO₂ je sledeća:



Tokom duboke pukotinske cirkulacije vode se zagrevaju (što usled geotermnog stepena, što zbog blizine magmatskih intruzija, pre svih plagiogranita i gabra) a takođe i apsorbuju ugljen-dioksid, koji potom usled promene termodinamičkih uslova "iznosi" ove podzemne vode na površinu terena u vidu izvora manje izdašnosti, pre svega oko i u korito Pasjačke reke.

Geohemijska uloga gasa CO₂ je veoma značajna u ovom slučaju. Rastvaranjem CO₂ u vodi i daljom disocijacijom (Protić, 1995):



oslobađaju se joni vodonika. Obogaćivanje mineralne vode gasom CO₂ i hidrokarbonatnim jonom je verovatno vezano za dublju zonu cirkulacije, gde vode dolaze u kontakt sa karbonatnim stenama. Pored ovog načina, postoji mogućnost da je poreklo CO₂ vezano za magmatske intruzije (plagiograniti i gabro) kao i za proces regionalnog metamorfizma.

Hemijski sastav ovih voda se neznatno menja od prve analize 1901. godine (tabela 1) što ukazuje na stabilan režim, i duboku cirkulacija podzemnih voda.

Tabela 1. Hemijski sastav mineralnih voda "Mivela" Veluče (Ivanković, 2005)

Pojava	M (mg/l)	Na (%ekv)	Ca (%ekv)	Mg (%ekv)	CO ₂ (mg/l)
Izvor (1901)	1560,00	18	20	62	1500,00
Izvor (1998)	1890,00	25	11	64	-
V-2	1760,00	15	7	78	1100,00
Flaširana (2004)	1580,00	17	4	79	-
EBV-1/99 (2004)	1680,00	16	3	81	2800,00

U tabeli 2 su prikazani genetski koeficijenti koji ukazuju na odnose glavnih komponenti hemijskog sastava mineralnih voda i na osnovu njih se mogu doneti zaključci o vrsti stene u kojoj su formirane vode određenog hemijskog sastava.

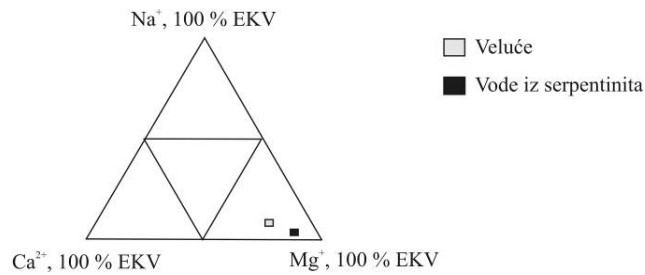
Tabela 2. Genetski koeficijenti mineralnih voda "Mivela" Veluče, r-%ekv (Ivanković, 2005)

Pojava	rCa/rMg	rNa/rCa	rNa/rCa+Mg	rNa/rMg
Izvor (1901)	0,32	0,90	0,22	0,29
Izvor (1998)	0,17	2,27	0,33	0,39
V-2	0,09	2,14	0,17	0,19
Flaširana (2004)	0,05	4,25	0,20	0,21
EBV-1/99 (2004)	0,04	5,30	0,19	0,20

Iz tabele 2 se može videti (usmeni komentar P. Papić) :

- da su vrednosti koeficijenta rCa/rMg tipične za vode u nekarbonatnim stenama, a vrednosti manje od 0,2 su tipične za vode ultrabaznih stena;
- vrednosti rNa/rCa koje su od 2-5 ukazuju na povećan udeo jona natrijum;
- odnos rNa/rMg je oko 0,20 što vode izdvaja u magnezijumske, pa samim tim ukazuje i na stene bogate silikatima magnezijuma u kojima se formira hemijski sastav voda.

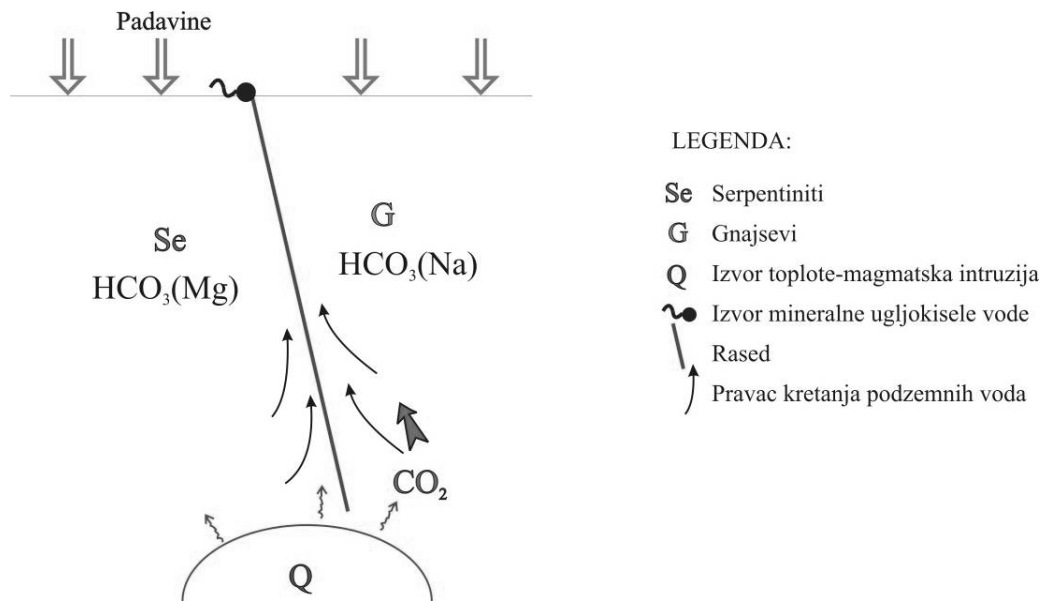
Na slici 2 je prikazan dijagram Fere-a za uzorak ugljikisele mineralne vode i sa njega se takođe vidi da su ovo magnezijumske vode sa tendencijom porasta jona natrijuma.



Slika 2. Dijagram Fere-a za uzorak mineralne vode "Mivela" Veluće (modifikovano, Papić i ostali, 1995)

Na osnovu svega iznetog može se šematizovati model formiranja hemijskog sastava ugljikiselih mineralnih voda "Mivela" Veluće (slika 3):

- infiltracija atmosferskih padavina;
- dejstvo ovih voda na silikate magnezijuma;
- dejstvo ovih voda na silikate natrijuma;
- dejstvo ugljen-dioksida na ove vode čime se povećava mineralizacija.



Slika 3. Šema uslova za formiranje ugljikiselih mineralnih voda "Mivela" Veluće

ZAKLJUČAK I PREDLOG DALJIH ISTRAŽIVANJA

Ovim radom su se pokušali razjasniti uslovi i procesi koji dovode do formiranja ugljikiselih mineralnih voda sa specifičnim hemijskim i fizičkim osobina. Prirodna ugljikisela mineralna voda "Mivela" predstavlja jedan od najvećih darova prirode koji se mogu naći u Srbiji. Pojavljivanje ove vode je vezano za sučeljavanje dve krupne geotektonske celine (Srpsko-makedonska masa i Šumadijsko-kopaonička zona) te su to razlozi postojanja stena raznolikog karaktera. Upravo ovako specifičan položaj isticanja ugljikiselih mineralnih voda zajedno sa drugim specifičnostima doveo je do postojanja mineralne vode čiji je hemijski sastav izuzetna retkost, a pogotvo se ističe povećan sadržaj jona magnezijuma.

Da bi se potvrdili raniji stavovi o procesima i uslovima formiranja hemijskog sastava ovih voda potrebno je izvršiti sledeće: detaljnu hidrohemijsku prospekciju terena, izotopske analize, dodatne mineraloško-petrološke analize stena sa područja Veluća, sagledati regionalne i lokalne elemente tektonike i sklopa, napraviti evolucionni model terena, izvesti dugotrajni test crpenja postojećeg bunara EBV-1/99, geofizička istraživanja kao i istražno bušenje sa dubinom preko 200 m.

LITERATURA

1. Dimitrijević, N., 1975: Gasovi u podzemnim vodama s posebnim osvrtom na njihovo prisustvo u mineralnim vodama Srbije, Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, Posebna izdanja, sv. 3, Univerzitet u Beogradu, Beograd
2. Filipović, B., Lazić, M., Jevtović, B., 1993: Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima ugljikiselih voda u Veluću, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
3. Rakić, M. i dr., 1976: OGK list Kruševac, karta + tumač, Savezni geološki zavod, Beograd
4. Ilić, M., Karamata, S., 1963: Specijalna Mineralogija, Deo prvi, Pregled petrogenih minerala, Univerzitet u Beogradu, Beograd
5. Ivanković, B., 2005: Uslovi formiranja hemijskog sastava ugljikiselih mineralnih voda «Mivela» iz Veluća, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
6. Milenić, D. i dr, 2004: Predhodna studija opravdanosti hidrogeoloških, tehnoloških i tržišno ekonomskih istraživanja u cilju povećanja obima eksploatacije i plasmana prirodne ugljikisele mineralne vode «Mivela» iz Veluća, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
7. Papić, P., Krunić, O., Jevtović, B., 1995: Geneza hemijskog sastav termomineralnih voda severnog oboda Kopaničkog masiva, Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd
8. Pejić, V., 1999: Elaborat o rezervama mineralne vode Mivela u Veluću kod Trstenika, EPS-JPRB „Kolubara“ – „Kolubara Projekt“, Lazarevac
9. Protić, D., 1995: Mineralne i termalne vode Srbije, posebna knjiga, Geoinstitut, Beograd