

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XV SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNIK RADOVA



KOPAONIK- GRAND HOTEL & SPA
14-17. septembar 2016. god



XV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Beograd

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Dušan Polomčić, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

TEHNIČKI UREDNICI:

Dr Ana Vranješ, dipl.inž
Milan Vukićević, dipl.inž
Sonja Drobac

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafolik, Beograd 2016.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta na sednici održanoj 18.06.2015. dalo je saglasnost za organizovanje XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem u organizaciji Departmana za hidrogeologiju.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (15; 2016; Копаник)
Зборник радова / XV Српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, Копаник 14-17. септембар 2016. године. - Београд : Универзитет, Рударско-геолошки факултет, 2016 (Београд : Графолік).
- [22], 690 стр. : илустр.; 30 cm

На врху насл. стр.: Департаман за хидрогеологију. - Радови ćи.и лат. -
Тираж 150. - Стр. [5-6]: Уводна рећ организатора / Дејан Миленић, Зоран Стевановић. - Abstracts. - Библиографија уз сваки рад.

ISBN 978-86-7352-316-3

а) Хидрогеологија - Зборници б) Снабдевање водом - Зборници
COBISS.SR-ID 225745420

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsjednik:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Generalni sekretar i sekretar organizacionog i naučnog odbora:

dr Ana Vranješ, dipl. inž.

Članovi:

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.</i> | 9. <i>Dejan Drašković, dipl. inž.</i> |
| 2. <i>Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.</i> | 10. <i>Ivan Đokić, dipl. inž.</i> |
| 3. <i>Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.</i> | 11. <i>Branko Ivanković, dipl. inž.</i> |
| 4. <i>Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.</i> | 12. <i>Zorica Vukićević, dipl. inž.</i> |
| 5. <i>Dr Adam Dangić, dipl. inž.</i> | 13. <i>Milan Radulović, dipl. inž.</i> |
| 6. <i>Mihajlo Mandić, dipl. inž.</i> | 14. <i>Uroš Urošević, dipl. inž.</i> |
| 7. <i>Velizar Nikolić, dipl. inž.</i> | 15. <i>Zoran Radenković, dipl. inž.</i> |
| 8. <i>Dragan Mitrović, dipl. inž.</i> | |

NAUČNI ODBOR:

Predsjednik:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Članovi:

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.</i> | 12. <i>Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.</i> |
| 2. <i>Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.</i> | 13. <i>Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.</i> |
| 3. <i>Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.</i> | 14. <i>Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž. (u penziji)</i> |
| 4. <i>Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.</i> | 15. <i>Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž. (u penziji)</i> |
| 5. <i>Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.</i> | 16. <i>Prof. dr Slobodan Vujasinović, dipl. inž. (u penziji)</i> |
| 6. <i>Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.</i> | 17. <i>Dr Metka Petrić, dipl. inž.</i> |
| 7. <i>Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.</i> | 18. <i>Dr Tamara Marković, dipl. inž.</i> |
| 8. <i>Prof. dr Miloško Lazić, dipl. inž.</i> | 19. <i>Prof. dr Neđo Đurić, dipl. inž.</i> |
| 9. <i>Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.</i> | 20. <i>Dr Konstantin Jovanović, dipl. inž.</i> |
| 10. <i>Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.</i> | 21. <i>Jugoslav Nikolić, dipl. inž.</i> |
| 11. <i>Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.</i> | |

UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsjednici:

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.

Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.

Nenad Toholj, dipl. inž.

Boban Jolović, dipl. inž.

Spasoje Glavaš, dipl. inž.

Ivana Demić, dipl. inž.

Žarko Veljković, dipl. inž.

Andrej Pavlović, dipl. inž.

Milan Vukićević, dipl. inž.

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

u saradnji sa

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

SPONZORI:

GENERALNI SPONZOR:

REHAU d.o.o.

G.P. KOMBO d.o.o.

THERMO OPTIMAL PROCESS COMPANY d.o.o.

POKROVITELJ:

MILLENNIUM TEAM

SPONZORI:

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

BEOGEOAQUA d.o.o.

GECO d.o.o.

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“

SPA OVČA

DONATORI:

Ibis-Inženjering d.o.o.

Hidrogeocentar d.o.o.

HIDROGEOLOŠKE STRUKTURE SIJARINSKE I MLADENOVAČKE „SELTERS“ BANJE HYDROGEOLOGICAL STRUCTURES OF SIJARINSKA AND MLADENOVAC „SELTERS“ BANJA

Goran Marinković¹, Petar Papić², Veselin Dragišić²

¹Geološki zavod Srbije, Rovinjska 12, Beograd, Email: goranhmarinkovic@gmail.com;

²Rudarsko – geološki fakultet, Beograd, Đušina 7, Email: ppapic@rgf.rs

APSTRAKT: Cilj ovog rada bio je da se na primeru jedne od starijih (Sijarinska b.) i jedne od mlađih („Selters“ b.) ugljikiselih mineralnih voda Srbije definišu granice prostiranja hidrogeoloških struktura u kojima se one formiraju. Istraživane su u svom prostiranju postojanja, između oblasti prihranjivanja, dubine zaleganja i oblasti isticanja ugljikiselih voda. Osim triju prostornih u razmatranje je uključena i dimenzija vreme – starost voda. Za ova istraživanja su uzeti u obzir: geološko – hidrogeološki uslovi oblasti formiranja ugljikiselih voda, neosporna veza ugljikiselih voda i vodopropusnih razlomnih zona, udaljenost površinskih vododelnica, ranije definisana teoretska maksimalna moguća dubina zaleganja ovih struktura, moguća brzina kretanja voda u datim hidrodinamičkim uslovima i utvrđena njihova starost. Pokazalo se, da u slučaju pravolinijskog kretanja voda, maksimalna udaljenost oblasti prihranjivanja bi iznosila, za mlađe vode do 7 km, a za starije do 11 km. Međutim, bilo je jasno da u pukotinskim sistemima to nikada nije slučaj, budući da vode prelaze daleko veće putanje u odnosu na pravolinijska rastojanja od mesta ulaska do mesta isticanja iz datih vodonosnih sredina. Iz analize geološko-hidrogeoloških i hidrodinamičkih uslova, a za utvrđene starosti voda, zaključeno je da udaljenosti između oblasti prihranjivanja i zona dreniranja mogu da budu i manje od 5 km. U radu je pokazano da se dubina dosezanja infiltracionih voda u vodopropusnim razlomnim zonama može sagledati i analizom dubina njihove cirkulacije u odnosu na poznate hidrodinamičke zone.

Ključne reči: prostiranje, razlomna zona, udaljenost oblasti prihranjivanja, dubina zaleganja, hidrodinamička zonalnost.

ABSTRACT: The aim of this paper was to show the boundaries of hydrogeological structures in which older (Sijarinska Banja) and younger („Selters“) carbon-acid waters are formed. These waters are investigated in their vastness of existence, between recharge zone, deepness and outflow of carbon-acid waters. Beside this, time is also taken into consideration- water age. However, for this research, geological- hydrogeological conditions of carbon- acid water formation, relationship between these waters and permeable fractures, maximum deepness of these structures, maximum water speed in hydrodynamic conditions and determination of water age are taken into consideration. The results have shown that in case of pan water, maximum distance from the recharge zone would be 7km for younger waters and 11km for older. On the other hand, in fracture system that was never the case, since water passes far greater trace compared to distance between recharge zone and outflow from water- bearing medium. From geological- hydrogeological analysis and hydrodynamic conditions it was concluded that, for the water age, distance between recharge and outflow zone could be less than 5 km. In this paper it is presented that the deepness of infiltration waters in permeable fracture zones could be determined by analysis of their circulation with regard to given hydrodynamic zones.

Key words: vastness, fracture zones, distance from recharge zone, brooding depth, hydrodynamic zonality.

UVOD

Osnovna hidrogeološka struktura ugljikiselih voda Sijarinske i „Selters“ banje je aktivna i disjunktivna razlomna zona. Za Sijarinsku banju ona predstavlja međublokovsku strukturu krupnih blokova niske planinske oblasti, a za „Selters“ banju, međublokovsku strukturu u zoni horstova i rovova, koju pokrivaju moćni terciarni sedimenti (Marinković, 2014). U Sijarinskoj banji ugljikisele vode su isticale prirodnim putem, dok su u „Selters“ banji one otkrivene slučajno, budući da se nisu ispoljavale na površini terena. Brojni autori o ovim banjama dali su sažete geološke i hidrogeološke opise, sa prikazima rezultata fizičko – hemijskih, radioaktivnih i izotopskih ispitivanja voda (M. Čekić, 2013; S. Milanović et al, 2012; D. Protić, 1995; N. Milojević, 1964 i 1954).

Predmetne hidrogeološke strukture razmatrane su u svom prostranstvu između oblasti prihranjivanja, dubine zaleganja i zona isticanja ugljikiselih voda, kao i u vremenu koje voda nakon infiltracije provodi u njima. Istraživanja su bazirana na neospornoj vezi ugljikiselih voda i vodopropusnih regionalnih razlomnih zona, definisanoj maksimalno mogućoj dubini zaleganja hidrogeoloških struktura ugljikiselih voda (Marinković et al, 2013), mogućoj (teoretskoj) prosečnoj brzini kretanja ugljikiselih voda u datim hidrodinamičkim uslovima i na utvrđenoj njihovoj starosti. Osim toga, imale su se u vidu udaljenosti površinskih vododelnica, po pravcu pružanja vodopropusnih regionalnih razloma u kojima su formirane predmetne vode. Ove udaljenosti su takođe korišćene pri usvajanju prosečne brzine podzemnog toka ($1,1 \times 10^{-8}$ m/s). Iz svega pomenutog, i činjenice da u pukotinskim vodonosnim sredinama vode prelaze daleko veće putanje u odnosu na pravolinijsko rastojanje od mesta infiltracije do mesta isticanja (silazne i uzlazne putanje, krivudavost podzemnog toka u 3D prostoru), zaključeno je da ova udaljenost može da iznosi, za hidrogeološku strukturu „Selters“ banje u granicama < 5 km do najviše 7 km, a za hidrogeološku strukturu Sijarinske banje od < 5 km do najviše 11 km.

Dubina dosezanja hidrogeoloških struktura ugljikiselih termomineralnih voda „Selters“ i Sijarinske banje, razmatrana je u odnosu na poznate hidrodinamičke zone (intenzivnih, usporenih i veoma usporenih procesa vodozamene). Postignuti rezultati su pokazali da se glavna količinska izmena u ovim strukturama odvija u domenu hidrodinamičke zone usporenih procesa vodozamene. Za Sijarinsku banju ona doseže do između 1500 m i 2000 m dubine, a za Selters banju ispod 1300 m dubine, sa tendencijom smanjivanja količinskih izmena voda ispod ovih dubina.

U rezultatu ovih istraživanja je zaključeno, da se definisani linijski pravci (tektonske zone) i okvirne maksimalne granice prostranstva predmetnih hidrogeoloških struktura, mogu uzeti sa dosta pouzdanosti, a da postignuti rezultati omogućavaju, racionalnija i efektivnija istraživanja predmetnih hidrogeoloških struktura, u pogledu povećanja izdašnosti izvorišta, iznalaženja voda viših temperatura i rešavanja drugih konkretnih zadataka.

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U radu se uzima u obzir da je prostranstvo neke hidrogeološke strukture ugljikisele mineralne vode definisano, ako se poznaju, geološko – hidrogeološki uslovi u oblasti njenog formiranja, udaljenost oblasti hranjenja i zone dreniranja, i dubina dosezanja ugljikisele vode. U vezi sa tim, vreme je smatrano za veoma bitnu prostornu dimenziju, budući da ono, sa poznatom prosečnom brzinom ugljikisele vode, jasno određuje dužinu njenog puta. To je put koji ona provede u geološkoj sredini, od momenta infiltracije do momenta isticanja. Razumljivo je da se brzina vode na ovom putu menja, da je različita, a putanja sa promenljivim pravcima kretanja (krivudava). Posmatrano u trodimenzijalnom prostoru, pravolinijsko rastojanje između tačke infiltracije vode i tačke njenog isticanja, po svemu je daleko kraće od dužine puta koju ona prođe kroz sisteme pukotina i prslina u regionalnoj razlomnoj zoni.

Budući da su istraživanja pokazala da su ispucale čvrste stene (škriljci, magmatiti, krečnjaci, laporci) osnovna sredina zaleganja razlomnih zona predmetnih ugljikiselih voda, uzete su u obzir moguće brzine kretanja podzemnih voda u izlomljenim škriljcima od $n \cdot 10^{-8}$ do $n \cdot 10^{-4}$ m/s i moguće njihove brzine u hidrodinamičkoj zoni usporenih procesa vodozamene, veće od $8 \cdot 10^{-8}$ m/s (Dragišić, 1997). Uvažavajući ove teoretske brzine, smatralo se da odnos, dužina puta i brzina podzemnog toka, mora da bude takav da se oblasti prihranjivanja nalaze u gravitacionom slivnom području u kome se javljaju ugljikisele vode. Red veličine prosečne brzine kretanja najpre je određen na primeru „Selters“ banje, gde su geološko – hidrogeološki uslovi takvi da je očigledno da se oblast prihranjivanja nalazi u granicama slivnog područja reke Alinac (Milojević, 1964). Za utvrđenu starost vode „Selters“ banje od 19300 godina, prosečna brzina podzemne vode morala je da iznosi oko $1,15 \times 10^{-8}$ m/s. Dakle ako bismo u odnosu na ovu prosečnu, usvojili veću brzinu toka, dobili bismo nerealno veliku udaljenost ili bi zaključak bio da je krivudavost podzemnog toka u 3D prostoru toliko velika da višestruko uvećava dužinu pređenog puta u odnosu na pravolinijsko rastojanje. Iz datih razloga, a u datim teoretskim granicama brzina podzemnog toka za izlomljene škriljce, usvojena je donja (sporija) granica njihovih prosečnih brzina od $1,1 \times 10^{-8}$ m/s.

Hidrodinamički uslovi formiranja ugljikiselih voda predmetnih hidrogeoloških struktura definisani su po dubinama zaleganja poznatih hidrodinamičkih zona: intenzivnih, usporenih i veoma usporenih procesa vodozamene.

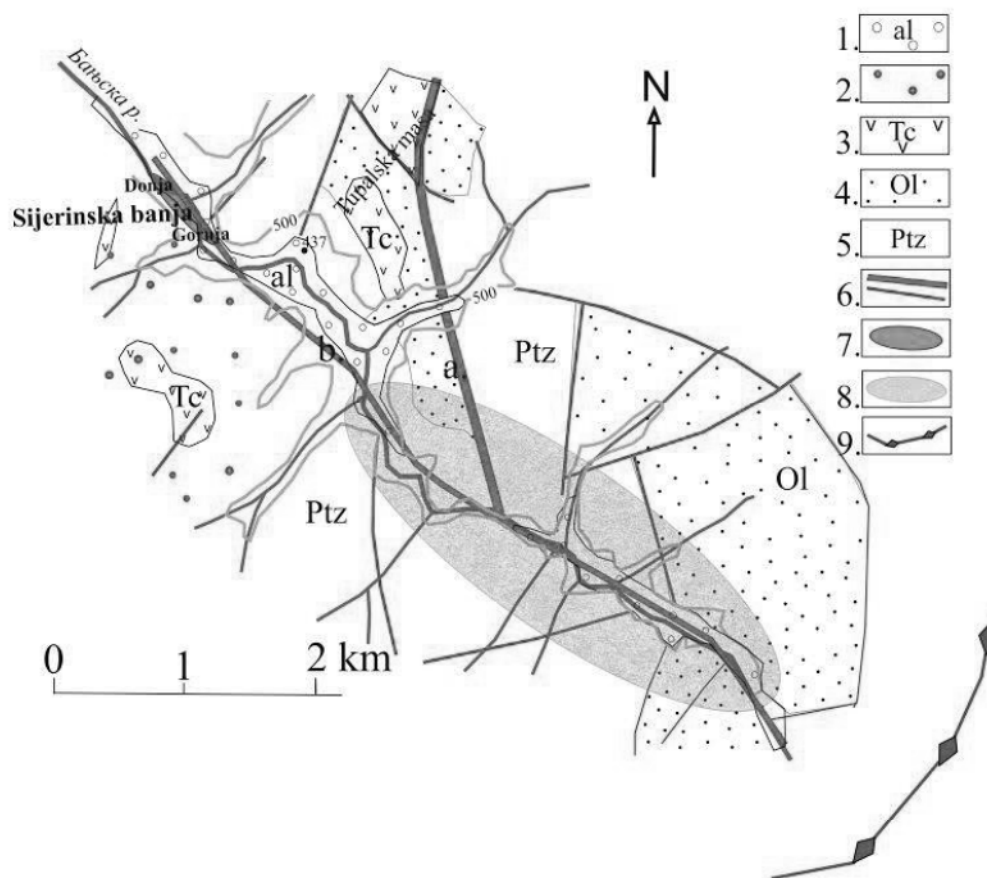
Najnovijim izotopskim ispitivanjima termomineralnih voda iz duboke bušotine u Sijarinskoj banji, dobijena je starost koja iznosi 42160 ± 1630 godina pre današnjice (Milanović et al, 2012). Izotopskim ispitivanjima, na osnovu izotopa ugljenika ^{14}C , utvrđena je starost voda „Selters“ banje od 19300 ± 470 godina (Perić i Milivojević, 1990).

REZULTATI I DISKUSIJA

Hidrogeološke strukture

Linijski raspored pojava ugljikiselih voda na teritoriji Srbije pouzdano ukazuje na njihovu genetsku vezu sa tektonskim strukturama, a njihova (dobra) vodopropusnost rezultat je disjunktivnih neotektonskih kretanja blokova, koje one graniče (Marinković *et al.*, 2012). Istraživanja su pokazala da se osnovnom hidrogeološkom strukturom ovih voda mogu smatrati razlomne zone (Marinković, 2014). Poznato je da razlomne zone mogu da budu velike širine, i do 10 km, pružanja i preko 100 km i dubokog zaleganja (Stepanov, 1989).

Rasedna struktura markirana izvorima ugljikiselih voda Sijarinske banje, svojim južnim produžetkom se spaja sa glavnom trasom Tupalskog dubokog razloma (slika 1). Očigledno je da ove naznačene trase raseda pripadaju jednoj dubokoj razlomnoj zoni, određene širine, u kojoj se hidrogeološka struktura predmetnih voda pruža, po svemu, njenom zapadnom stranom (gde postoje dokazi o paleo cirkulacijama termalnih rastvora (Vukanović *et al.* 1973)). Dubokom bušotinom u Gornjoj banji, bušenje kroz škriljce do 1232 m dubine, najveći dotoci predmetnih voda konstatovani su iz tektonskih zona, na dubinama 360 m i 840 m (Stanković i Zlokolica, 1993). Iz pliće tektonske zone dobijena je erupcija vode od 60 l/s, temperature 77,8 °C, a iz pomenute dublje zone dobijena je, pod pritiskom, količina od 33 l/s, vode temperature 72 °C. Nabušene vodopropusne tektonizirane zone su jasno ograničene, pripadaju pomenutoj dubokoj razlomnoj zoni (tupalskoj) i ukazuju na veću dubinu njenog zaleganja. Zapaža se da je cirkulacija sa dubinom isključivo vezana za njih i da one čine mrežu, koja se, po svemu, nepravilno i neujednačeno grana. Van ovih ograničenih vodopropusnih tektoniziranih zona stena je kompaktna – pretežno vodonepropusna.



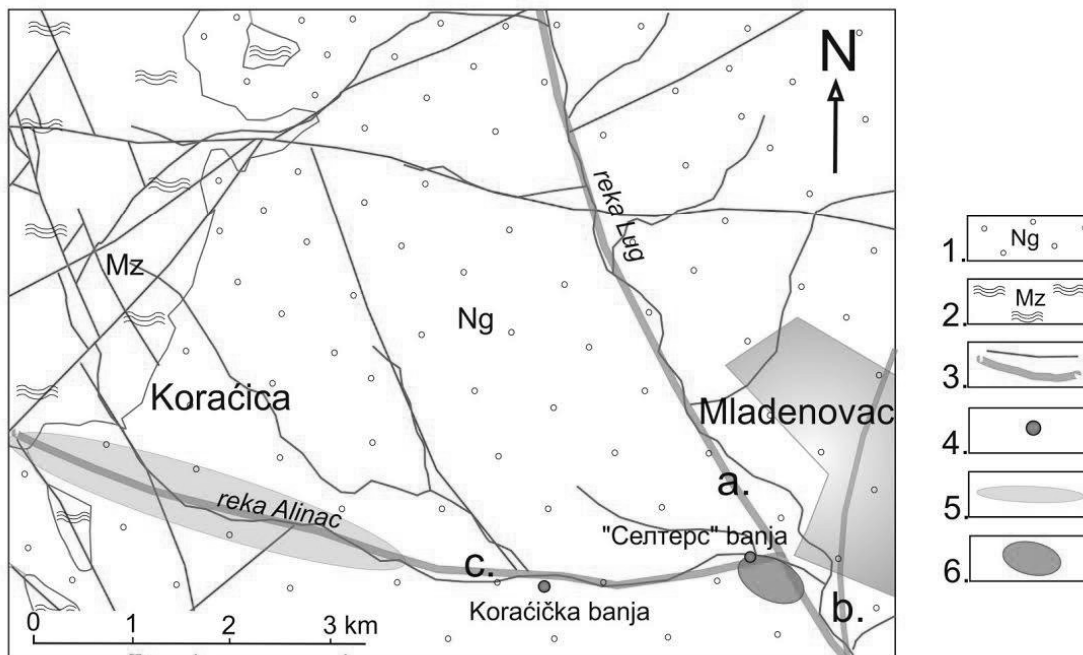
Slika 1. Geološko – hidrogeološka karta prostranstva hidrogeološke strukture Sijarinske banje

1. aluvijalni nanos; 2. hidrotermalno izmenjena stena; 3. vulkanske stene tercijarne starosti; 4. sedimenti oligocenske starosti; 5. kristalasti škriljci; 6. rasedna struktura (a. Tupalska razlomna zona; b. razlomna zona Banjske reke); 7. zona dreniranja; 8. oblast prihranivanja; 9. površinska vododelnica.

Figure 1. Geological - hydrogeological map of Sijarinska Banja hydrogeological structure distribution

1. alluvial deposit; 2. hydrothermally altered rocks; 3. volcanic rocks of Tertiary age; 4. sediments of Oligocene age; 5. crystalline schist; 6. Fault structure (a. Tupalska fault zone; b. Banjska reka fault zone); 7. drainage zone; 8. recharge zone; 9. surface watershed.

Ugljikisela termomineralna voda „Selters“ banje je formirana kod Mladenovca, na području ukrštanja triju neotektonski aktivnih tektonskih struktura (slika 2). Najbliža, koja prati dolinu reke Alinac, i regionalne rasedne strukture poznate kao, Lužničko – topčiderski rased, koji prati dolinu reke Lug, i Varovnički rased. Prvom bušotinom, od 239 m dubine, ugljikisele mineralne vode „Selters“ banje zahvaćene su u sarmatskim sedimentima u najnižem delu neogenog kompleksa sedimenata i delom u podinske laporovite krečnjake gornje krede (Milojević, 1964). Dubljim bušotinama (IB-1 dubine 816,4 m i IB-2 1150 m), ugljikisele vode su zahvaćene u laporovitim krečnjacima i krečnjacima, u intervalu od 600 do 1150 m dubine. Do dubine 300 m su neogeni sedimenti sa vodopropusnim i vodonepropusnim slojevima, od 300 m do 750 m su pretežno vodonepropusni sedimenti gornjo krednog fliša, a ispod njih mezozojske slabo karstifikovane karbonatne stene (Čekić, 2013). Dubokim bušotinama, ove mineralne vode su kaptirane u karbonatnim stenama ispod gornjokrednog fliša, a delom i u laporovite krečnjake i laporce ovog gornje krednog fliša. Bušotinama nisu registrovane tektonizirane zone. Međutim, činjenica je da se ovaj prostor nalazi blizu zona ukrštanja pomenutih neotektonskih rasednih struktura i da se nabušena vodonosna sredina nalazi u hidrauličkoj vezi sa izvesnom (glavnom) razlomnom zonom.



Slika 2. Geološko – hidrogeološka karta prostranstva hidrogeološke strukture Mladenovačke „Selters“ banje

1. kompleks sedimenata neogene starosti; 2. čvrste stene geološke osnove mezozojske starosti (karbonatne stene, fliš i serpentiniti odvojeni rasedima); 3. rasedna struktura (a. Lužničko-topčiderski rased; b. Varovnički rased; c. rased reke Alinac); 4. mineralna voda; 5. oblast prihranjivanja; 6. izvoriste banje.

Figure 2. Geological - hydrogeological map of Mladenovac „Selters“ spa hydrogeological structure distribution

1. Neogene sediments; 2. solid rock of mesozoic age (carbonate rocks, flysch and serpentinite separated with faults); 3. fault structure (a. Lužničko - Topčider fault; b. Varovnička fault; c. river Alinac fault); 4. mineral water; 5. recharge zone; 6. spring.

U hidrogeološkom pogledu, neogeni sedimenti „Selters“ banje čine kompleks vodopropusnih i vodonepropusnih slojeva, sedimenti mezozojskog fliša pretežno vodonepropusnu sredinu, a donjokredni sedimenti vodopropusnu karbonatnu litološku sredinu sa formiranom pukotinsko – karstnom poroznošću. Najveće vodopropusnosti su razlomne zone u čvrstim karbonatnim stenama i vodopropusni slojevi u neogenim sedimentima. Prostranstvo ovih vodopropusnih litoloških sredina se može smatrati potencijalnom sredinom glavnih cirkulacija (kretanja) podzemnih voda.

Udaljenost oblasti prihranjivanja

Prostranstvo hidrogeoloških struktura određeno je i udaljenošću između oblasti prihranjivanja i zona (mesta) dreniranja. U datim geološko – hidrogeološkim uslovima Sijarinske i „Selters“ banje, ove udaljenosti su razmatrane u granicama prostranstva vodopropusnih razlomnih zona, linijskog pružanja – od izvorišta do granica gravitacionih slivnih područja površinskih tokova u kojima se ove banje nalaze (Banjska reka, Alinac i Lug). Osim toga, imalo se u vidu da udaljenost oblasti prihranjivanja od mesta isticanja, mora da bude u saglasnosti sa utvrđenom starošću voda i njihovom prosečnom brzinom (u granicama teoretskih brzina za datu vodopropusnu litološku sredinu).

Ugljikisele vode predmetnih hidrogeoloških struktura su atmosferskog (infiltracionog) porekla (Perić i Milivojević, 1990). Atmosferske padavine se infiltriraju, direktno ili indirektno preko površinskih tokova,

akumulacija i graničnih vodonosnih sredina. Prilagođene linijskim strukturama, oblasti prihranjivanja zadobijaju konture izduženog ovalnog oblika. Starost voda određuje dužinu putanje koju voda mora da prođe. U čvrstim stenama ona može na toj dužini da bude „trasirana“ samo regionalnom aktivnom neotektonskom strukturom. Za Sijarinsku banju, ova putanja je trasirana, po svemu, regionalnim razlomom Banjske reke i eventualno drugim razlomima manjih razmera (pružanja i dr.) u domenu dubokog tupalskog razloma. Za termomineralne vode Mladenovačke „Selters“ banje to se odnosi na neotektonske rasedne strukture koje se na ovom području ukrštaju (rased dolinom reke Alinac, dolinom reke Lug Lužničko – topčiderski rased i Varovnički rased).

Za Sijarinsku banju proračuni su pokazali, da od izvorišne zone, uzvodno u slivu Banjske reke, oblast prihranjivanja može da bude udaljena najviše 11 km. Međutim, ako se uzme u obzir, osim silazne i uzlazne putanje, i krivudavost podzemnog toka u 3D prostoru, onda ova udaljenost, po svemu, može da bude i manja od 5 km. Za „Selters“ banju maksimalna udaljenost oblasti prihranjivanja može da iznosi 7 km, a zbog krivudavosti podzemnog toka, može takođe da bude manja od 5 km. Maksimalne udaljenosti su u saglasnosti sa udaljenošću površinskih vododelnica, po pružanju vodopropusnih razlomnih zona, i sa geološko – hidrogeološkim uslovima razmatranih oblasti. Iz prethodnog, bilo je moguće za razmatrane hidrogeološke strukture usvojiti prosečnu minimalnu brzinu podzemnih voda od $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Dubina dosezanja hidrogeoloških struktura (ugljokiselih voda)

Teoretski, u litosferi Srbije ugljikisele vode mogu da dosežu maksimalno do 2,5 km dubine, odnosno do dubine koju određuje dubina zaleganja litostratigrafskih supstrata ugljendioksida (Marinković et al, 2013). Za litosferu Srbije ona se odnosi na područje geotektonske jedinice Vardarska zona, u domenu koje su formirane razmatrane pojave i više od 90 % od svih registrovanih ugljikiselih voda na teritoriji Srbije.

Uvažavajući data ograničenja, bliže određenje dubina dosezanja predmetnih hidrogeoloških struktura postignuto je sagledavanjem u profilu, zona bliskih količinskih izmena – saglasno poznatim hidrodinamičkim zonama, intenzivnih, usporenih i veoma usporenih procesa vodozamene.

Jasno je da, za uzlazne sisteme i za starost ugljikiselih voda koja se meri desetinama hiljada godina, izdvajanje zona **intenzivnih procesa vodozamenе**, u datom smislu, nije svrsishodno. Međutim, uzlazni tokovi termomineralnih ugljikiselih voda, u pripovršinskom pojasu mogu da budu izloženi bočnoj infiltraciji podzemnih voda iz ove hidrodinamičke zone. Na ovaj način one utiču na sezonske promene temperatura voda i izdašnosti izvora na izvorištima. U hidrogeološkim strukturama njihova dubina zaleganja je određena nivoima regionalnih drenirajućih bazisa. Za oblast Sijarinske banje regionalni drenirajući bazis predstavlja reka Jablanica (390 m nadmorske visine), a za oblast „Selters“ banje reka Kubrščina (110 m nadmorske visine). U odnosu na oblasti prihranjivanja, koje se kod razmatranih hidrogeoloških struktura nalaze na nadmorskoj visini iznad 500 m za Sijarinsku banju, odnosno iznad 200 m za „Selters“ banju, proizilazi da u njima ove hidrodinamičke zone mogu da dosežu dubine veće od 100 m.

Teoretski, zona **usporenih procesa vodozamenе**, zaleže na dubinama ispod zone intenzivnih procesa vodozamenе. Potpuna vodozamena vrši se u trajanju od 100 do 100 miliona godina (Dragišić, 1997). U poređenju sa zonom intenzivnih procesa vodozamenе, kretanje podzemnih voda u ovoj zoni je vrlo sporo. U području manjih arteskkih basena („Selters“ banja) ona u proseku može da zaleže do 1000 m dubine, a u planinskim oblastim (Sijarinska banja) do 2000 m. Prirodna brzina kretanja podzemnih voda je veća od $8 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Sasvim je sigurno, da se u predmetnim vodopropusnim razlomnim zonama, sa dubinom smanjuje količinska izmena podzemnih voda (intenzivnost vodozamenе). U Sijarinskoj banji ona se jasno ispoljila pri bušenju duboke bušotine (B-4). Iz tektonske zone na 360 m izmerena je izdašnost oko 60 l/s, a na 840 m oko 30 l/s. Od 840 m do krajne dubine 1150 m, nisu registrovani prilivi (vodonosne tektonski izlomljene zone).

Zapaža se da najveća količinska izmena u hidrogeološkoj strukturi Sijarinske banje, koja odgovara zoni usporenih procesa vodozamenе, protiče između 300 i 1000 m dubine. Ispod ove dubine ona nastavlja postupno da se smanjuje, što jasno ukazuje da ona može da doseže ispod 1500 m dubine. U tom pogledu sasvim odgovara teoretski datim dubinama njenog zaleganja u datim planinskim uslovima, od 1000 do 2000 m. Od ovih dubina se, po svemu, postupno prelazi u hidrodinamičku sredinu veoma usporenih procesa vodozamenе.

Ugljikisele termomineralne vode „Selters“ banje kaptirane su na intervalu od 350 do 1150 m dubine (između -200 m i -1000 m nadmorske visine). Očigledno je da se ovaj interval u celini nalazi u domenu hidrodinamičke zone usporenih procesa vodozamenе. Debljina ovog intervala dubine iznosi oko 800 m, a najveća količinska izmena protiče u ranije izdvojenoj glavnoj vodonosnoj sredini ovih voda – donjokrednim slabo karstifikovanim karbonatnim stenama. Aktivna ralomna zona, koja, po svemu, prati dolinu reke Alinac i /ili/ reke Lug, omogućava da ugljikisele termomineralne vode iz donjokrednih krečnjaka, uzlaznim kretanjem dospevaju do vodopropusnog sarmatskog sloja (u dnu neogenog kompleksa sedimenata). Njeno kretanje kroz neogen prema površini onemogućavaju vodonepropusni slojevi.

Zona **veoma usporenih procesa vodozamenе** zaleže na većim dubinama, većim od 1000 m, odnosno 2000 m. Prirodna brzina kretanja podzemnih voda je veoma mala (0,05 – 0,1 m/god). Iz prethodnog se može zaključiti, da kod hidrogeološke strukture Sijarinske banje postupni prelaz iz hidrodinamičke zone usporenih u veoma usporene procese vodozamenе može da se očekuje u intervalu 1500 - 2000 m dubine, a kod hidrogeološke strukture Selters banje u intervalu 1300 - 1500 m dubine.

Proizilaz da se glavna (najveća) količinska izmena u razmatranim hidrogeološkim strukturama odvija u domenu hidrodinamičke zone usporenih procesa vodozamenе, i to, u hidrogeološkoj strukturi Sijarinske banje do 1500 m dubine, a u hidrogeološkoj strukturi Selters banje do 1300 m dubine.

ZAKLJUČAK

Pokazalo se da prostranstvo predmetnih hidrogeoloških struktura može da bude definisano u određenim okvirnim granicama, koje u regionalnom pogledu dovoljno jasno daju sliku o pružanju, udaljenosti oblasti prihranjivanja i dubinama doseganja razmatranih termalnih ugljikiselih mineralnih voda.

Na osnovu udaljenosti površinskih vododelnica, starosti voda i teoretskih brzina za analogne pukotinske sredine, bilo je moguće odrediti minimalnu prosečnu brzinu podzemnog toka ($1,1 \times 10^{-8}$ m/s). Iz svega pomenutog, i činjenice da u pukotinskim vodonosnim sredinama vode prelaze daleko veće putanje u odnosu na pravolinijska rastojanja od mesta infiltracije do mesta isticanja (silazne i uzlazne putanje, krivudavost podzemnog toka u 3D prostoru), zaključeno je da ova udaljenost može da iznosi, za hidrogeološku strukturu „Selters“ banje u granicama od manje 5 km do najviše 7 km, a za hidrogeološku strukturu Sijarinske banje od manje od 5 km do najviše 11 km.

Glavna količinska izmena u razmatranim hidrogeološkim strukturama odvija se u domenu poznate hidrodinamičke zone usporenih procesa vodozamene, a generisanje i migracija ugljendioksida u domenu zone veoma usporenih procesa vodozamene. Za Sijarinsku banju najveća količinska izmena odvija se do 1500 m dubine, sa tendencijom postupnog smanjivanja sa dubinom. Ispod ove dubine nalazi se granica između hidrodinamičke zone usporenih i veoma usporenih procesa vodozamene. Kod „Selters“ banje ugljikisele termomineralne vode su zahvaćene u intervalu od 360 do 1150 m dubine. Glavna količinska izmena ovih voda odvija se ispod 800 m dubine i vezana je za slabo karstifikovane karbonatne stene. Veća dubina doseganja voda ove banje uslovljena je vodopropusnošću ovih stena i neotektonski aktivnih razloma. Tektonizirana zona nije nabušena, ali blizina aktivnih regionalnih rasednih struktura i postojanje gasa ugljendioksida, jasno ukazuju na njihovu blizinu i hidrauličku vezu između njih i nabušenih vodonosnih sredina, u laporovitim i slabo karstifikovanim karbonatnim stenama (interval 360 - 1150 m dubine).

Definisanjem regionalnih razlomnih zona u kojima se ugljikisele vode formiraju i obnavljaju, udaljenosti između oblasti prihranjivanja i zona dreniranja i dubina doseganja ugljikiselih voda, omogućavaju se racionalnija i efikasnija hidrogeološka istraživanja - za potrebe povećanja izdašnosti izvorišta, iznalaženja voda viših temperatura i rešavanja drugih konkretnih zadataka.

LITERATURA

- VUKANOVIĆ M., KARAJIČIĆ LJ., DIMITRIJEVIĆ M., MOŽINA A., GAGIĆ H. I JEVREMOVIĆ M., 1973: *Tumač za list Leskovac, Osnovne geološke karte Republike Srbije, razmere 1:100000*. Beograd.
- DRAGIŠIĆ V., 1997: *Opšta hidrogeologija*. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet. Beograd.
- MARINKOVIĆ G., 2014: *Hidrogeološki uslovi formiranja ugljikiselih mineralnih voda Srbije*, (doktorska disertacija), Rudarsko geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, p. 166
- MARINKOVIĆ, G., PAPIĆ P., DRAGIŠIĆ V., STOJKOVIĆ J., ŽIVANOVIĆ V. AND ANDRIJAŠEVIĆ J.: 2013: *Lithostratigraphic CO₂ substrata and the depth of carbonated mineral water systems in the lithosphere of Serbia*, - Technics Technologies Education Management, vol. 8, No. 2, pp. 550-557, 2013 (IF = 0,414) (ISSN 1840-1503 (http://www.ttem.ba/pdf/ttem_8_2_web.pdf))
- MARINKOVIĆ G., PAPIĆ P., STOJKOVIĆ J. AND DRAGIŠIĆ V., 2012: *Factors contributing to the formation of carbonated mineral water systems in Serbia*, -Geološki anali Balkanskoga poluostrva, vol. 73 pp. 117-124, 2012 (ISSN 0350-0608) (<http://www.rgf.bg.ac.rs/Publikacije/Geoloski%20anali/GABP%2073%20-%202013.pdf>)
- MILANOVIĆ S., VASIĆ LJ., I SORAJIĆ S., 2012: *Elaborat o rezervama termomineralnih voda izvorišta preduzeća „Energoprojekt-oprema“ a.d. – Beograd u Sijarinskoj Banji*.
- MILOJEVIĆ N. (1954) *Termomineralni izvori Sijarinske banje*. Geološki anali Balkanskog poluostrva, XIII, Beograd.
- MILOJEVIĆ N. (1964) *Mineralne vode Srbije. Hidrogeologija ugljikiselih voda. Mladenovačka, Palanačka i Lomnička kisela voda*. Geološki anali Balkanskog poluostrva, XXXI, Beograd.
- PAVLOVIĆ Z., 1980: *Tumač za list Smederevo, Osnovne geološke karte Republike Srbije, razmere 1:100000*. Beograd.
- PROTIĆ D., 1995: *Mineralne i termalne vode Srbije (posebno izdanje, knjiga 17)*., Geoinstitut - Beograd.
- PERIĆ J. I MILIVOJEVIĆ M., 1990: *Studija Geotermalna potencijalnost teritorije SR Srbije van teritorije SAP, I ocena*, Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
- Stanković S i Zlokolica M, 1993: *Elaborat o eksploatacionim rezervama termomineralnih voda izvora Sijarinske banje*, Fond Geozavod-a, Beograd
- STEPANOV V.M., 1989: *Введение в структурную гидрогеологию*, Moskva. (str. 230)
- ČEKIĆ M., 2013: *Elaborat o rezervama podzemnih termomineralnih voda iz bunara IB-1 na izvorištu Instituta za rehabilitaciju „Selters“ u Mladenovcu*. Fond za geološka istraživanja Republike Srbije. Beograd;