

IV KONGRES BANJA

Sa međunarodnim učešćem

Vrnjačka Banja, 15 – 16. maj 2012.



Vrnjačka Banja

2012.

IV Kongres banja sa međunarodnim učešćem

Zbornik radova

Programski odbor Kongresa

Prof. dr Milica Lazović, Institut za rehabilitaciju, Beograd, **predsednik**

Prof. dr Aleksandar Dimić, Institut za rehabilitaciju, Niška Banja

Prof. dr Olivera Krunić, Rudarsko – Geološki fakultet, Beograd

dr Bojan Zečević, Ekonomski fakultet, Beograd

Prof. dr Bojan Dimitrijević, Fakultet za uslužni biznis, Sremska Kamenica

Prof. dr Jovan Popesku, Fakultet za turistički i hotelijerski menadžment, Beograd

dr Maja Ćosić, Visoka turistička škola strukovnih studija, Beograd

Prof. dr Zeki Karagulle, predsednik Međunarodnog udruženja medicinske hidrologije i klimatologije

Izdavač

Udruženje banja Srbije

Beogradska 12a, 36210 Vrnjačka Banja

036 611 109, 611 110

udruzenjebanja@gmail.com

www.serbianspas.org

Za izdavača

Mr sci. med. dr DEJAN STANOJEVIĆ

Predsednik Upravnog odbora Udruženja banja Srbije

Prelom i grafička priprema

Stručna služba Udruženja banja Srbije

Štampa

Štamparija „CICERO“, Novo Selo, Vrnjačka Banja

cicerovb@open.telekom.rs

SADRŽAJ

(HIDRO)GEOLOŠKE POJAVE I OBJEKTI MINERALNIH, TERMALNIH I TERMOMINERALNIH VODA SRBIJE KAO INTEGRALNI DEO PRIRODNE I KULTURNE BAŠTINE SRBIJE, Olivera Krunic¹, Dušan Polomčić¹, Petar Dokmanović¹, Stanko Sorajić	5
OSNOVA ZA OCENU I REALNO VREDNOVANJE MINERALNIH, TERMALNIH I TERMOMINERALNIH VODA U PRIVREDNOM RAZVOJU SRBIJE, Olivera Krunic¹, Srđan Parlić², Marina Jovanović², Rade Uzelac²	15
MARKETING STRATEGIJA U WELLNESS TURIZMU, Radmila Živković	21
VAZDUŠNA BANJA IVANJICA – IDEALNO MESTO ZA RAZVOJ ZDRAVSTVENOG TURIZMA, Svetislav Lj. Marković¹, Miloje Ostojić², Ilija V. Popović³	32
ISPITIVANJE ZNAČAJA RAZVOJNIH PARAMETARA BANJSKOG TURIZMA, Marijana Matić	46
ZNAČAJ ZAŠTITE PRIRODNIH RESURSA U RAZVOJU AUTENTIČNOG SRPSKOG WELLNESSA U BUKOVIČKOJ BANJI, mr Dragan D. Todorović	70
JEDINSTVENI SRPSKI VELNES KONCEPT OD VELNES-a DO SELFNESS-a	77
“HOD PO MALINAMA” U JEDINSTVENOM SRPSKOM VELNES, MEDIKAL SPA I SELFNESS KONCEPTU, Ivana Blagojevic, Gorana Isailovic - Medikal SPA Asocijacija Srbije	85
SPA KUHINJA U JEDINSTVENOM SRPSKOM VELNES KONCEPTU, Branka P. Trbović¹, Jasmina Stojanović², Babić Biljana¹, Mila Trbović¹, Slavojka Škodrić¹, Ivanka Sekulović¹, Milka Kurteš²	87
SRPSKI SELFNESS VIKEND-ANIMACIONA RADIONICA „ETNO BODY ART”, Jelena Andjelkovic, Marija Vlaisavljevic, Ivana Todorovic, Ana Mandic, Gorana Isailovic	94
VEŽBANJE U SRPSKOM VELNES KONCEPTU, Mr sci. med Dr Duško Spasovski	96
AUTOHTONE ZAČINSKE BILJKE, Mila Trbović¹, Isidora Milanović¹	101
HAMAM; AN AUTHENTIC SPA AND WELLNESS TRADITION FROM TURKEY, Prof. Dr. M. Zeki Karagülle	109
HAMAM, AUTENTIČNA SPA I VELNES TRADICIJA IZ TURSKE, Prof. Dr. M. Zeki Karagülle	113
MOGUĆNOSTI RAZVOJA TERMALNOG TURIZMA U REPUBLICI MAKEDONIJI, Dejan Metodijeski¹, Nako Taskov², Tatjana Džaleva³, Oliver Filipovski⁴, Zoran Temelkov⁵ . 116	
OPPORTUNITIES FOR DEVELOPMENT OF THERMAL TOURISM IN REPUBLIC OF MACEDONIA, Dejan Metodijeski¹, Nako Taskov², Tatjana Dzaleva³, Oliver Filipovski⁴, Zoran Temelkov⁵	121
HIDROGEO Termalni resursi vrnjačke banje, Veselin Dragišić¹, Vladimir Živanović¹, Miroslav Krmpotić², Nebojša Atanacković¹, Dejan Tadić², Dejan Nešković¹, Sava Magazinović¹	126

<i>HIDROGEOLOŠKI ASPEKTI KORIŠĆENJA TERMOMINERALNIH VODA GORNJE TREPČE, Milojko Lazić, Olivera Krunić, Momčilo Blagojević</i>	<i>138</i>
<i>OCENA ISKORIŠĆENOSTI I PERSPEKTIVNOSTI LEKOVITIH VODA VOJVODINE, Milan Tomić¹ Milojko Lazić² Ljiljana Popović³</i>	<i>147</i>
<i>HIDROGEOTERMALNI SISTEM SIJARINSKE BANJE, Tanja Petrović Pantić i Milena Zlokolica Mandić,</i>	<i>154</i>
<i>POTENCIJAL LEKOVITIH VODA NEOGENIH NASLAGA PODUNAVLJA NA PRIMERU LOKALITETA U ZABELI I JUGOVU, Željko Kljajić¹, Milojko Lazić¹, Nestor Miković¹, Vladimir Lazić²</i>	<i>164</i>
<i>HIDROHEMIJSKI TIPOVI FLAŠIRANIH VODA U SRBIJI I NJIHOV ZNAČAJ SA LEKOVITOG ASPEKTA, Tijana Vinčić, Nela Petronijević²</i>	<i>174</i>
<i>UTICAJ DEMOGRAFSKIH FAKTORA NA RAZVOJ BANJSKOG TURIZMA, Vladeta Vešković</i>	<i>183</i>
<i>MARKETING I MODERNI MENADŽMENT U ZDRAVSTVENOM TURIZMU PRIMER RIBARSKE BANJE, Anđelka Lazarević, Nata Ćirić</i>	<i>200</i>

HIDROGEOTERMALNI SISTEM SIJARINSKE BANJE, Tanja Petrović Pantić i Milena
Zlokolica Mandić,

HYDROGEOTHERMAL SYSTEM OF SIJARINSKA BANJA SPA

Geološki institut Srbije, Rovinjska 12, Beograd

Apstrakt

Sijarinska banja se nalazi na jugu Srbije, opština Medveđa. Na području banje, termomineralne vode ističu na dve lokacije: Donja i Gornja banja. Prostor je izgrađen od metamorfnih stena: mikašista, gnajseva i amfibolskih škriljci sa probojima tercijarnih andezita. Zona prihranjivanja podzemnih voda je u okviru Leckog andezitskog masiva. Zagrevaju se dejstvom najmlađih intruziva i cirkulišu duž raseda i pukotina formiranih u okviru vulkanita i kristalastih škriljaca. Ove, ispucale stene predstavljaju, dobre provodnike toplote, dok kompaktne stene, sa većim sadržajem glinovite komponente predstavljaju barijere koji sprečavaju rasipanje energije.

Temperatura voda je u opsegu od 25-78°C, mineralizacija oko 2.3 g/L. Termalne vode su ugljikisele HCO₃-Na sa povišenim sadržajem B, Cs, Ge, K, Rb, Sr, W, F i NH₄. Sve pojave u Sijarinskoj banji imaju veoma sličan hemijski sastav sa osnovnom razlikom u temperaturi. Na osnovu katjonskih i SiO₂ geotermometara očekivane temperature u sistemu su u opsegu od 114 do 135°C. Na osnovu stabilnih izotopa ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$) zaključeno je da se termomineralne vode Sijarinske banje prihranjuju atmosferskim vodama.

Ključne reči: Sijarinska banja, hidrogeotermalni sistem, temperatura, geotermometri, hemijski sastav, stabilni izotopi

Apstract

Sijarinska banja spa is located on the south of Serbia, in the municipality of Medveđa. In the spa area thermo-mineral water flows in Donja and Gornja banja spa. The field consists of metamorphic rocks-micaschist, gneiss, amphibolite schist and occasional Tertiary andesine. Water is recharged from andesine massif of Lece, heated under the influence of the youngest intrusives and it circulates along joints and faults formed within vulcanite and cristaline schist (micaschist, gnaiss and amphibolite schist). These rocks are good heat conductors, while compact schist with higher content of clay component is the barrier that prevents energy wastage.

Water temperature is between 25-78°C, and its mineralization is about 2.3 g/L. Thermal water is CO₂, HCO₃-Na with increased content of B, Cs, Ge, K, Rb, Sr, W, F i NH₄. All springs in Sijarinska banja spa have very similar chemical composition but the main difference is in temperature. Based on cations and SiO₂ geothermometers, the expected temperatures in the geothermal system range from 114 to 135°C. Based on

the values of stable isotopes ($\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$) it can be concluded that thermomineral water of Sijarinska spa recharges from meteoric water.

Key words: Sijarinska banja spa, hydrogeothermal system, temperature, geothermometers, chemical composition, stable isotopes

Uvod

Na području Sijarinske banje, na relativno malom prostoru, skoncentrisan je veliki broj izvora, bušotina i sondi različitih po izdašnosti i temperaturi. U "Donjoj banji" postoje sledeće pojave termomineralnih voda: Raj, Spas, Borovac, Gejzir, Veliki Gejzir, Mali Gejzir, Inhalator, Rimski izvor. U "Gornjoj banji" termomineralne pojave su: Jablanica, Zdravlje, Suzica, Snežnik, tri izvora u Blatištu, Kiseljak i bušotina B-4. Najveća atrakcija u banji bio je Gejzir koji je dostizao visine do 46m. Gejzir je nastao 1954. (Ž. Kapetanović) kada je bušenjem do 8m došlo do isticanja termalne vode pod pritiskom. Najdublja bušotina B-4 urađena je kroz škriljce do dubine od 1232 m. Na 360 m dubine presečena je pukotinska zona iz koje je dobijena erupcija termalne vode sa 60 l/s i izlaznom temperaturom 77,8°C, što predstavlja maksimalnu izdašnost i temperaturu vode u bušotini. Sa većih dubina dobijeno je 30 l/s vode, temperature 75°C pod pritiskom (Stanković & Zlokolica, 1993). Zbog prigušenog isticanja, preko ventila na glavi bušotine, 1994.g. utvrđena je izdašnost od 22 l/s.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja, postoji više tumačenja porekla i uslova formiranja voda, tako da se u literaturi spominje nekoliko hipoteza (Milojević i Perić, 1990; Protić, 1994; Zlokolica, 1994). Cilj rada je definisanje hidrogeotermalnog sistema na osnovu podataka dosadašnjih istraživanja i na osnovu novih analiza.

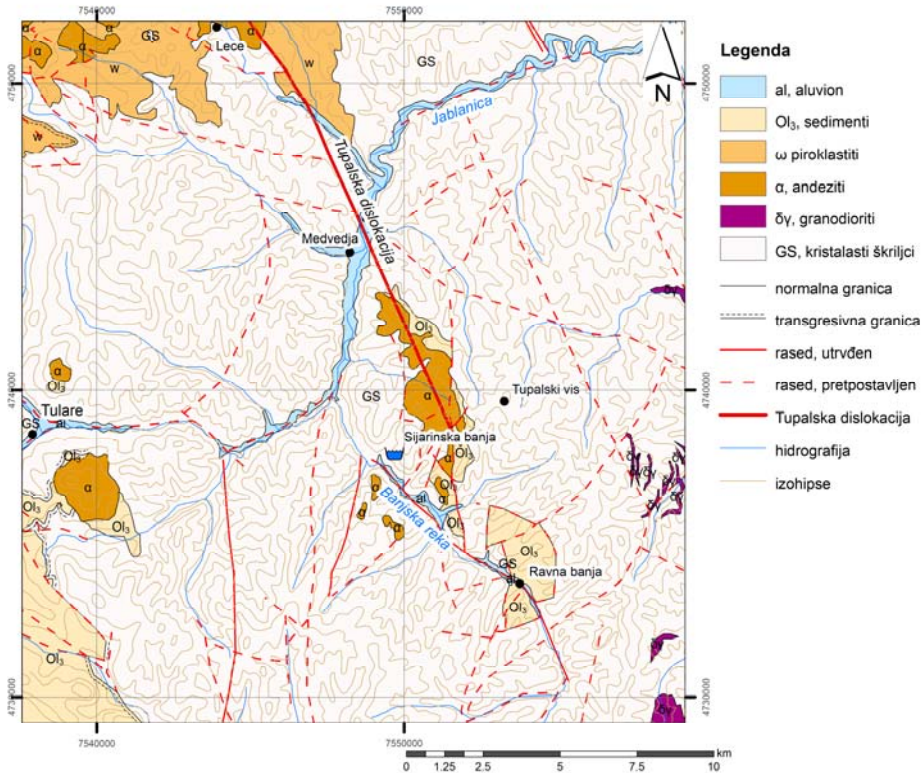
Vode Sijarinske banje se koriste u balneoterapiji i za grejanje hotela "Gejzir" u okviru kog se nalazi Zavod za specijalizovanu rehabilitaciju "Sijarinska Banja".

Geološke i hidrogeološke karakteristike terena

Geološku građu Sijarinske banje (slika 1) i okoline čini kompleks kristalastih škriljaca prekambrijumske starosti (mikašisti, gnajsevi i amfibolski škriljci), sa probojima andezita i dacita krajem tercijara. Tercijarni andeziti su najzastupljeniji severno od Sijarinske banje. Gornje oligocenski sedimenti (peščari, krečnjaci, glinci, tufovi, peščari) razvijeni su u istočnom pojasu andezitskih masa, kao i u području Ravne banje. Uz reku Jablanicu taložen je aluvijalni rečni nanos. U samoj banji postoje naslage mermernog oniksa koji je, do nedavno, intenzivno eksploatisan. Najmlađe stene čini aragonitski bigar koji se izlučuje iz termalnih bušotina. Škriljci su mestimično hidrotermalno izmenjeni i limonitisani usled raspadanja piritских žica. Na osnovu geološke građe, nema litoloških indikatora hidrogeoloških kolektora kojima bi se mogle pripisati postojeće količine termalnih voda i visokih temperatura. Najznačajnija dislokacija je Tupalska, koja se od Leckog vulkanskog masiva prostire severoistočno i istočno od Sijarinske banje. Ona predstavlja duboki razlom koji deli dve geotektonske strukture sa različitom simetrijom sklopa: Srpsko-kristalasto jezgro (istočno) i Vardarsku zonu (zapadno) (Vukanović i dr., 1973).

Na terenu su zastupljeni: pukotinski tip izdani i uslovno bezvodni delovi terena. Pukotinski tip izdani formiran je u okviru dacito-andezita. Iz ovih stena kaptirano je ukupno oko 4,5 l/s termalnih voda, preko bušotina Gejzir, Aragon i Inhalator. Preko ostalih 9 osmatranih pojava ističe ukupno još oko 1 l/s.

Glavne količine termomineralnih voda Sijarinske banje (utvrđenih 22 l/s i indikovanih još 60 l/s) zahvaćene su bušotinom B-4 koja je u potpunosti izvedena u kristalastim škriljcima. Ove stene se, međutim, prema hidrogeološkim svojstvima svrstavaju u uslovno bezvodne terene (Šarin,1988). Osnovni kriterijum za izdvajanje škriljaca u "bezvodne terene" je činjenica da stenska masa pod uticajem atmosferskih prilika formira tanak sloj rastresitog pokrivača sa velikim sadržajem glinovite komponente, koja zapunjava pukotine (Stanković & Zlokolica, 1993) što za posledicu ima formiranje povremenih i izvora male izdašnosti, što je slučaj i sa prirodnim pojavama isticanja u Sijarinskoj banji. Njihova kolektorska svojstva, u dubljim delovima terena zavise, prvenstveno, od mineraloških i petroloških svojstava i stepena tektonске oštećenosti.



Slika 1. Geološka karta Sijarinske banje
Fig 1. Geology map of Sijarinska banja spa

Ranija istraživanja

Milivojević i Perić (1990) na osnovu izotopskih analiza ^{13}C dokazuju da su prisustvo slobodnog CO_2 i paleo i savremene naslage mermernog oniksa na površini posledica geotermičkog razlaganja karbonatnih stena. Na osnovu date konstatacije autori zaključuju da termalne vode potiču iz paleozojskih mermera Srpskog kristalastog jezgra, za koje se vezuju i termalne vode u Suvoj Česmi, Viči, Kuršumlijskoj banji i Tularima. Prihranjivanje mermera je u okolini Prokuplja, a procenjena debljina oko 1500 m, prostriranja oko 1000 km^2 . Na površini terena šire okoline Sijarinske banje nije utvrđeno veće kontinuirano rasprostiranje ovih masa, kao ni njihovo prisustvo po dubini, čak ni dubokom bušotinom. Prihranjivanje vodonosne sredine moguće je jedino u okolini Prokuplja gde su mermeri zastupljeni na ograničenoj površini, što ne ide u prilog velikoj količini voda u Sijarinskoj banji (Zlokolica, 1994).

Protić (1995) objašnjava da su termomineralnih vode formirane u okviru leckog andezitskog masiva, odnosno u okviru velike Prolomske paleovulkanske kaldere, u kojoj su sa vulkanitima potonule i značajne količine krednih krečnjaka. Duž raseda koji prati glavni prstenasti rased kalderske strukture probile su se termomineralne vode do Sijarinske banje, a zbog krečnjačkih masa u kalderi veliki je sadržaj CO_2 u gasnom sadržaju vode.

Zlokolica (1994) iznosi kritički osvrt na ovu hipotezu, po kojoj se javlja „...problem geometrije ležišta, povezivanja udaljenih zona prihranjivanja, odnosno diskontinuiteta samog ležišta, kao i dobijenih količina voda koje daleko prevazilaze uobičajne izdašnosti pukotinske izdani u ovim stenama. U tom slučaju ova vodonosna sredina bi prihranjivala i škriljce, iz kojih su dobijene znatno veće količine voda, što je u suprotnosti sa hidrodinamičkim zakonima.“

Na osnovu prethodnih razmatranja Zlokolica (1994) iznosi tumačenje da je hidrogeološki kompleks formiran u okviru škriljaca u koje su utisnuti andeziti, pri čemu ne negira mogućnost postojanja (primarno) karbonatnih stena u okviru metamorfog kompleksa. Smenjivanjem sredina sa različitim hidrogeološkim svojstvima, omogućava se formiranje izdani pod pritiskom. Pravci cirkulacije voda su predisponirani tektonskim sklopom i geomehaničkim karakteristikama litoloških članova. Duž Tupalske dislokacije vršeno je prodiranje andezitske magme kroz nataloženu sedimentnu seriju gornjeg oligocena i starijih stena. Po završetku intrudovanja magme i efuzivne aktivnosti po istim sistemima pukotina odvija se cirkulacija hidrotermalnih rastvora koji vrše seritizaciju, hloritizaciju i piritizaciju (Zlokolica Mandić & Tasić, 2005).

U okviru regionalnih aeromagnetnih ispitivanja na području lista Leskovac (Vukašinović, 2010) iznosi da su tercijarni vulkaniti izazvali anomalno polje sa ekstremnim vrednostima ΔT intenziteta -200 nT na širem prostoru Lece-Gajtan i Tupale-Sijarinska banja. Intenzivna negativna anomalija Lece-Gajtan ukazuje na jednu od vulkanskih oblasti na datom prostoru. Intruzivi Leca (nekadašnje magmatsko ognjište) su definisani kao tri velika intruziva uglavnom vezana za obodne delove andezitskog masiva i niz manjih intruziva indiciranih u pravcu jugoistoka, odnosno duž Tupalske diskolacije (Mladenović, 1982).

Metode i rezultati

Metode

Zbog velikog broja pojava, odabrana su 4 pojave (Gejzir, Aragon, Inhalator i B-4) za određivanje vrednosti pH, EC, alkaliteta, koncentracije 69 hemijskih elemenata i određivanje stabilnih izotopa ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$). Analize su rađene u avgustu 2011. Hemijske analize rađene su u laboratoriji BGR (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources) u Berlinu. Makrokomponente su određene metodom ICP-AES, mikrokomponente i elementi u tragovima metodom ICP-QMS, anjoni jonskom hromatografijom, alkalnost titracijom, amonijum jon fotometrijskom metodom. Za ostale bušotine korišćene su analize rađene za potrebe izrade Elaborata, Studija ili drugih projekata (Vujanović i Teofilović, 1977; Pokrajac i Arsenijević, 1977; Zlokolica, 1994).

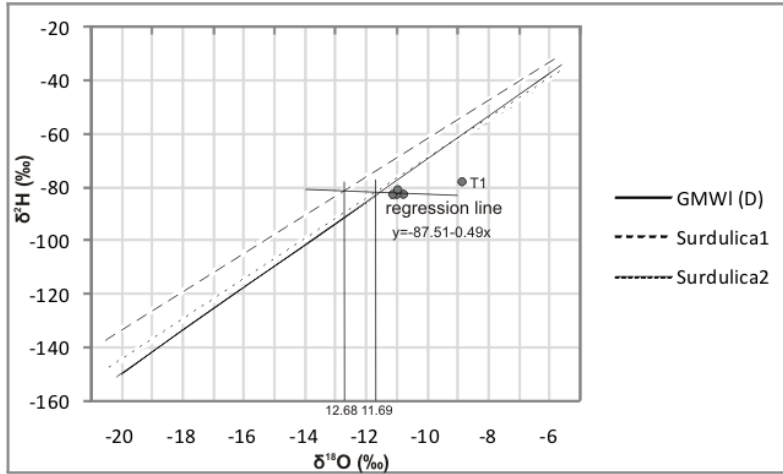
Izotopske analize rađene su na Technical University in Dresden na mass spectrometer. Prilikom merenja poštovani su standardi V-SMOW2 i SLAP2.

Izotopski sastav

U cilju određivanja prihranjivanja geotermalnog sistema korišćeni su izotopi ^2H (D) i ^{18}O . Vrednosti izotopa su skoro ujednačene (δD (-80,72‰ do -82,60‰), $\delta^{18}\text{O}$ (-10,8‰ do -11,14‰). U rezervoarskim stenama mali broj minerala sadrži vodonik, pa deuterijum u vodi ima malo minerala s kojima može da stupi u reakciju, dok su mnogi minerali obogaćeni ^{18}O (Milivojević, 2009) što izaziva oscilacije sadržaja u vodi.

Lokalna meterska linija za jugoistočnu Srbiju određena je na Surduličkom masivu i iznosi $\delta\text{D} = 7,3\text{‰} (\pm 0,2)$ $\delta^{18}\text{O} + 7\text{‰} (\pm 2)$ (Hadžišehović et al, 1995; Hadžišehović et al, 2005), odnosno između (1) $\delta\text{D} = 7,1\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O} + 9\text{‰}$ i (2) $\delta\text{D} = 7,5\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O} + 5\text{‰}$. Vrednosti δD i $\delta^{18}\text{O}$ na preseku regresione linije sa lokalnom meteorskom linijom predstavljaju izotopski sastav ulaznih atmosferskih voda koje prihranjuju rezervoar geotermalnih voda (Fontes and Zuppi, 1976; Fontes, 1980). Vrednost ^{18}O na preseku regresione linije i lokalne meteorske linije Surdulica1 je $\delta^{18}\text{O} = -12,68\text{‰}$, dok je vrednost na preseku sa linijom Surdulica2 $\delta^{18}\text{O} = -11,69\text{‰}$ (Sl.2).

Nadmorska visina prihranjivanja može da se odredi na osnovu linearne korelacije između nadmorske visine uzetih uzoraka i njihovih izotopskih vrednosti (Portugal et al, 2000). Primenom ove metode utvrđeno je prihranjivanje na visini od 1500 do 2000 m.n.v. Dobijena visina premašuje i najviši vrh Radan planine (Lecki andezitski masiv), najbliže najviše planine u širem području. Međutim uzevši u obzir da je vulkanska aktivnost bila posebno intenzivna u miocenu koja se odlikovala fazama ekstruzije i efuzije sa fazama tonjenja centralnih delova kaldera (Vukanović i dr., 1975), može se pretpostaviti da je pre vulkanske aktivnosti Lecki andezitski masiv imao veće nadmorske visine nego što je danas slučaj. Ove analize potpuno isključuju prihranjivanje na teritoriji Prokuplja.

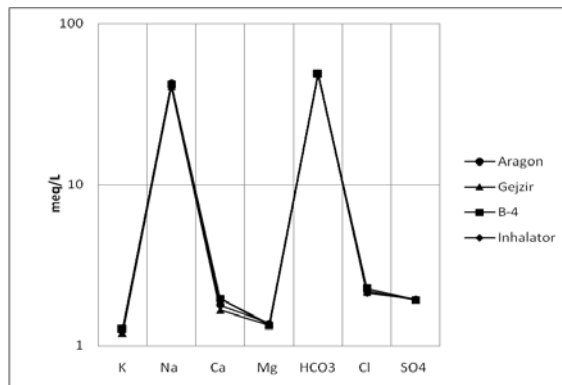


Slika 2. Dijagram stabilnih izotopa voda Sijarinske banje

Fig 2. Diagram of stable isotope content of mineral waters in Sijarinska banja

Hemijski sastav

Analizirane termomineralne vode su ugljikisele, neutralne do slabo alkalne (pH=7,6 do 8,1) sa vrednošću elektroprovodljivosti od 4270-4330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dosadašnjim proučavanjem ugljikiselih voda uočeno je da se najčešće pojavljuju u zonama velikih raseda, u zoni terciarnog i kvartarnog vulkanizma i u okviru regionalnog metamorfizma (Aljtvovski, 1973). Na osnovu sadržaja makrokomponentata vode su dominantno Na-HCO_3 sa preko 90%ekv katjonskog odnosno anjonskog sastava. Očigledno je da je reč o istim vodama, na osnovu elektroprovodljivosti i sadržaja makrokomponentata (sl. 3). Glavna razlika između voda Sijarinske banje je temperatura, koja je u opsegu od 25-78°C.



Slika 3. Schoeller-ov dijagram makrokomponentata

Fig 3. Schoeller-ov diagram of macrocomponents

Vode Sijarinske banje su sa povišenim sadržajem B, Cs, Ge, K, Li, Rb, Sr, W, F i NH_4 . Ovi elementi su tipični za termomineralne vode intruzivnih stena. Visok sadržaj Cs, Li, Rb, Ge i Sr naročito ukazuju na felsične, granitoidne intruzije (Beaucaire and Michard 1982).

Vrednosti bora u termalnim vodama Sijarinske banje su od 7.08 do 7.62 mg/l. Visoke koncentracije bora javljaju se u termalnim vodama kasnih faza magmatske aktivnosti i migriraju sa termalnim vodama. Takođe pri vulkanskim i postvulkanskim delovanjima, jedinjenja bora se pojavljuju sa vodenom parom i drugim produktima, pa su termalne vode vulkanskih oblasti obogaćene jedinjenjima bora (Dimitrijević, 1988).

Cs i Rb često zamenjuju K u liskunima i K-feldspatima, čije raspadanje predstavlja glavni izvor ovih elemenata u datoj sredini (Protić, 1988; Dinelli et al, 2010). Tokom kristalizacije magme, cezijum je koncentrisan u tečnoj fazi i poslednji kristališe. Granitni pegmatiti mogu sadržati i neuobičajeno visoke koncentracije germanijuma. Sr u vodu dospeva rastvaranjem krečnjaka i mafičnih do intermedijalnih stena. NH_4 jon se uglavnom vezuje za organska zagađenja, mada se sreće i u granitima, pegmatitima i hidrotermalno izmenjenim sistemima. W se javlja u pegmatitima kao i u škriljcima i granitima (Reimann and Birke, 2010). Značajne koncentracije fluora se javljaju u vodama koje su u kontaktu sa felsičnim magmatskim ili metamorfnim stenama (Reimann and Birke, 2010). Proučavanjem migracije fluora u mineralnim vodama Srbije uočeno je da je najveći sadržaj fluora konstatovan u HCO_3 , Na vodama. Sa porastom odnosa $r\text{Na}/r(\text{Ca}+\text{Mg})$ raste i sadržaj fluora po određenoj zakonomernosti (Papić, 1994, Sahadevan & Chandrasekharan, 2008). Posmatrajući poreklo mikrokomponenta u vodi, očigledno je da su vode Sijarinske banje u vezi sa kiselim magmatskim stenama (Petrović, 2010).

Geotermometri

Geotermometri se zasnivaju na ravnoteži temperaturnih reakcija koje se odvijaju u rezervoaru (Portugal et al, 2000). Procena temperature geotermalnog sistema Sijarinske banje oslanja na SiO_2 i Na-K-Ca, dok Na-K geotermometri pokazuju veću temperaturu od stvarne i ne prihvataju se za pouzdane jer je odnos $\text{Ca}/\text{Na} < 1$ (Fournier and Truesdell, 1973). Na osnovu primenjenih geotermometara u geotermalnom sistemu Sijarinske banje može se očekivati temperatura od 114 do 135°C (tabela 1). U tabeli 1. se uočava da se približno ista vrednost temperature očekuje u svim analiziranim pojavama.

Tabela 1. Procenjene temperature u geotermalnom sistemu Sijarinske banje na osnovu geotermometara.

Table 1. Assessment of temperature in the geothermal system Sijarinska banja spa based on geothermometers.

Geotermometar	Autori	Aragon (°C)	Gezir (°C)	B-4 (°C)	Inhalator (°C)
SiO ₂	Fourier, 1977a	115.75	114.99	115.75	116.05
SiO ₂	Fourier, 1977b	114.53	113.88	114.53	114.79
SiO ₂	Fourier and Potter, 1982	116.01	115.26	116.01	116.31
SiO ₂	Arnorsson, 1985	114.98	114.30	114.98	115.25
Na-K-Ca	Fournier and Truesdell, 1973	132.60	129.70	134.97	131.59

Korišćenje termalnih voda

Termalna voda Sijarinske banje se koristi u baneologiji i za zagrevanje objekata. Na osnovu podataka iz decembra 2008. godine (Martinović & Milivojević, 2010) proračunato je da pri proticaju od 7,4 l/s i obaranju temperature sa 76°C na 25°C dobija se 1.58 MWt toplotne snage, dok se pri prosečnom proticaju od 4 l/s koristi 26.91 TJ/god energije. Godišnji faktor iskorišćenja je 0,54.

Međutim ako se u proračun uzme proticaj od 22 l/s, pri istom obaranju temperature dobija toplotna snaga od 4.69 MWt, pri čemu opet termalna voda temperature 25°C neiskorišćeno otiče.

Diskusija i zaključak

Izotopske analize $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ ukazuju na prihranjivanje geotermalnog sistema atmosferskim vodama na visinama iznad 1500 m, što jedino ukazuje da je prihranjivanje sistema bilo pre vulkanske aktivnosti Leckog andezitskog masiva. Aeromagnetnim osmatranjima zabeležene su izrazite anomalije na istražnom području koje najverovatnije predstavljaju utisnute intruzive u poslednjoj fazi magmatizma. Andezitske stene, kao i škriljci i gnajsevi koji su dominantno prisutni na analiziranom području, kao kompaktne stene, nemaju značajniju poroznost koja bi omogućila formiranje, cirkulaciju i isticanje velikih količina termalnih voda. Značajnije količine voda formirane su u okviru raseda i pukotinama sistema Tupalske dislokacije, koji su posledica intenzivne tektonske aktivnosti.

Tupalska diskolacija, proteže se u okviru kristalastih škriljaca, koji su dobri provodnici toplote, dok škriljci sa većim sadržajem glinovite komponente predstavljaju i hidrogeotermalnu barijeru čime se sprečava rasipanje toplote. Na području Sijarinske banje dobijene su značajne količine termomineralnih voda iz kristalastih škriljaca i andezita. Ove stene su očigledno dovoljno tektonski oštećene što je omogućilo akumuliranje, cirkulaciju i isticanje velikih količina termomineralnih voda.

Procenjene temperature u geotermalnom sistemu Sijarinske banje na osnovu geotermometara su od 114 do 135°C. Od utvrđenih količina termalnih voda (22 l/s) za zagrevanje objekata i u balneološke svrhe koristi se manje od 20%.

Zahvalnost

Zahvaljujemo se dr Manfredu Birke-u i analitičarima BGR u Berlinu za hemijske analize, kao i kolegama sa Technical University in Dresden za izotopske analize. Istraživanje je sprovedeno u okviru Projekata III 43004 Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

Literatura:

Aljtovski, M. E., 1973. Hidrogeološki priručnik, Građevinska knjiga, Beograd (Orig. Spravočnik gidrogeologa, 1962. Gosudarstvennoe naučno-tehničko izdatel'stvo literaturi po geologii i ohrane nedr, Moskva.

Beaucaire, C., Michard, G., 1982. Origin of dissolved minor elements (Li, Rb, Sr, Ba) in Superficial Waters in a Granitic Area, *Geochemical Journal* 16, 247–258.

Dinelli, E., Lima, A., De Vivo, B., Albanese, S., Cicchella, D., Valera, P., 2010. Hydrogeochemical analysis on Italian bottled mineral waters: effects of geology, In *Mineral Waters of Europe. Special Issue, J. Geochem. Explor. Journal* 107 (3), pp.

Dimitrijević, N., 1988. Hidrohemija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Vukanović, M., Dimitrijević, M., Dimitrijević, M., Karajčić, Lj., Rajčević, D., Pejčić, M. 1975. Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Podujevo K 34-43, Savezni geološki zavod, Beograd

Vukanović, M., Karajčić, Lj., Dimitrijević, M., Možina, A., Gagić, N., Jevremović, M. 1973. Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Leskovac K 34-44, Savezni geološki zavod, Beograd

Fontes, J.Ch., 1980. Environmental isotopes in groundwater hydrology. In: Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Eds.). *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, vol. 1. Elsevier, Amsterdam, pp.75–134.

Fontes J .Ch., Zuppi G.M. 1976. Isotopes and water chemistry in sulphide-bearing springs of Central Italy. In: *Interpretation of Environmental Isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology*, I.A.E.A., Vienna, 143-158.

Fournier, R.O., and Truesdell, A.H. 1973. An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.

Fournier, R.O. 1977. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems. *Geothermics*, 5, 41-50.

Fournier, R.O., and Potter, R.W. II, 1982: A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geoth. Res. Council Bull.*, 11-10, 3-12.

Hadžišehović, M., Dangić, A., Miljević, N., Šipka, V., Golobočanin, D. 1995. Geothermal Water Characteristics in the Surdulica Aquifer, *Ground Water*, Vol.33, No.1, p.112-123

Martinović, M., Milivojević, M., 2010. Serbia Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia

Milivojević, M., Perić, M., 1990. Studija: Geotermalna potencijalnost teritorije SR Srbije van teritorija SAP. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Milivojević, M. 2009. Geotermologija i Geotermalna energija, udžbenik Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Mladenović, M., 1982. Najveći dovodni kanali tercijarnih magmatita-direktni donosioci geotermalne energije. X jubilarni Kongres geologa Jugoslavije, Budva.

Milovanović, B., 1992. Studija: Ocena geotermalnih resursa na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava sa posebnim akcentom na najperspektivnije lokalnosti, knjiga I. Geozavod HIG Beograd i NIS-Naftagas, Novi Sad, Beograd

Petrović, T. 2010. Termalne vode tercijarnih magmatita jugoistočne Srbije. Magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, str. 100.

Portugal, E., Birkle, P., Barragan, R., Arellano, V.M., Tello, E and Tello, M. 2000. Hydrochemical-isotopic and hydrogeological conceptual model of the Las Tres Virgenes geothermal field, Baja California Sur, Mexico, Journal of Volcanology and Geothermal Research 101, p. 223-244

Pokrajac, S., Arsenijević, M. 1977. Hidrohemijska studija termomineralnih voda SR Srbije, Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanje nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Papić, P., 1994. Migracija fluora u mineralnim vodama Srbije. Magistarski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Protić, D., 1988. Zakonomernost raspodele mikroelemenata u mineralnim vodama SR Srbije. Magistarski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu

Protić, D., 1995. Mineralne i termalne vode Srbije, Geoinstitut, Beograd

Raimann, C., Birke, M. 2010. Geochemistry of European Bottled Water, Borntraeger Science Publisher, Stuttgart

Sahadevan, S., Chandrasekharam, D. 2008. High fluoride groundwater of Karbi-Anglong district, Assam, Northeastern India: Source characterization. Book. Groundwater for sustainable development: problems, perspectives and challenges. Taylor & Francis, London, New York

Stanković, S., Zlokolica M., 1993. Elaborat o eksploatacionim rezervama termomineralnih voda izvora Sijarinske banje, Geozavod, Beograd

Šarin, A., 1988. Uputstvo za izradu osnovne hidrogeološke karte SFRJ, Savezni geološki zavod, Beograd

Vukašinović, 2010. Prikaz i interpretacija aeromagnetske karte Republike Srbije 1 : 100 000 (tumač), Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije

Zlokolica, M., 1994. Aneks Elaborata o eksploatacionim rezervama termomineralnih voda izvora Sijarinske banje, Geozavod, Beograd

Zlokolica Mandić, M. & Tasić S., 2005. Termomineralne vode, gas CO₂ i geotermalna energija Sijarinske banje, Geozavod, Beograd