

# Konceptualni model hidrogeotermalnog sistema šire okoline Brusa - geološki, geofizički i hidrogeološki uslovi / Conceptual model of hydrothermal system of Brus area - geological, geophysical and hydrogeological condition

Dejan Milenić, Ana Vranješ, Marinko Toljić, Ivana Vasiljević, Natalija Radosavljević, Matija Ognjanović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Konceptualni model hidrogeotermalnog sistema šire okoline Brusa - geološki, geofizički i hidrogeološki uslovi / Conceptual model of hydrothermal system of Brus area - geological, geophysical and hydrogeological condition | Dejan Milenić, Ana Vranješ, Marinko Toljić, Ivana Vasiljević, Natalija Radosavljević, Matija Ognjanović | XVII Srpski simpozijum o hidrologiji sa međunarodnim učešćem , Pirot, Srbija, 02-06. October 2024 | 2024 | |

10.5281/zenodo.13739406

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009101>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

## KONCEPTUALNI MODEL HIDROGEO TermALNOG SISTEMA ŠIRE OKOLINE BRUSA - GEOLOŠKI, GEOFIZIČKI I HIDROGEOLOŠKI USLOVI

## CONCEPTUAL MODEL OF HYDROTHERMAL SYSTEM OF BRUS AREA - GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITION

Dejan Milenić<sup>1</sup>, Ana Vranješ<sup>1</sup>, Marinko Toljić<sup>1</sup>, Ivana Vasiljević<sup>1</sup>, Natalija Radosavljević<sup>1</sup>, Matija Ognjanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: ana.vranjes@rgf.bg.ac.rs

**APSTRAKT:** Na širem području Brusa izvedena su naučna multidisciplinarna istraživanja za potrebe ocene geotermalnog potencijala sa zadatkom definisanja uslova formiranja geotermalnih i termomineralnih resursa. Interpretacijom podataka zaključeno je da je na predmetnom terenu formiran "hibridni" hidrogeotermalni sistem, koji sadrži elemente sistema u rov-strukturi i elemente konvektivnog hidrogeotermalnog sistema sa rezervoarom u pokrivaču granitoidne intruzije. Sistem čine dva nezavisna hidrogeotermalna rezervoara. Prvi rezervoar formiran je u gornjokrednim krečnjačima na dubini od oko 1550 m. Maksimalne prognozne temperature hidrogeotermalnih resursa u krečnjačkom rezervoaru su u intervalu 70-80 °C. Procenjena dubina zaleganja drugog rezervoara, formiranog u trijaskim krečnjačima, je oko 2000 m. Maksimalna očekivana temperatura u mermerima je oko 100 °C. Prihranjivanje geotermalnog sistema toplotnom energijom je dvojako, putem terestičnog toplotnog toka povišenih vrednosti, i kondukcijom toplote neotkrivene i pretpostavljene mlade magmatske intruzije. Magmačko telo je izdvojeno na osnovu izražene pozitivne anomalije totalnog magnetnog polja, koja se nalazi u zoni generalno negativnih gravimetrijskih anomalija. Intruzija je kontrolisana gravitacionim, hidrotermalno aktivnim rasedima. **ključne reči:** Hidrogeotermalni sistem, gornjokredni krečnjači, trijaski mermeri, Brus

**ABSTRACT:** In the broader area of Brus, multidisciplinary scientific research was conducted to evaluate the geothermal and thermomineral waters potential by defining the conditions for the resource formation. The data interpretation included that a "hybrid" hydrothermal system in the area contains elements of a hydrothermal system in a trench structure and elements of a convective hydrothermal system with a reservoir in the cover of a granitoid intrusion. The system consists of two independent hydrogeothermal reservoirs. The first reservoir is located in Upper Cretaceous limestones at a depth of about 1550 m. The maximum forecasted temperatures of hydrothermal resources in the limestone reservoir are 70-80 °C. The estimated depth of the second reservoir, located in Triassic marble, is about 2000 m. The maximum expected temperature in the marbles is about 100 °C. The geothermal system is fed by heat energy from terrestrial heat flow of elevated values and the heat conduction of an assumed undiscovered young magmatic intrusion. The magmatic body was identified based on positive total field magnetic anomalies and negative gravimetric anomalies. The magmatic body is controlled by gravity and hydrothermally active faults.

**Key words:** Hydrothermal system, Upper Cretaceous limestones, Triassic marble, Brus area

### UVOD

Na području Brusa i šire okoline tokom 2022. godine izvedena su opsežna naučna multidisciplinarna istraživanja u kontekstu ocene geotermalnog i termomineralnog potencijala hidrogeoloških resursa. U osnovi, istraživanja su imala za cilj karakterizaciju geotermalnih i termomineralnih voda sa aspekta uslova formiranja, prostorne distribucije, temperature i kvaliteta, i u skladu sa dobijenim rezultatima, povezivanje sa praktičnim mogućnostima primene. S tim u vezi, postavljen je i istraživački zadatak koji je dao odgovor da li se na predmetnom terenu mogu očekivati visokotemperaturne vode i na koji način se mogu eksploatirati.

Dosadašnja saznanja o geotermalnoj potencijalnosti terena proizašla su iz hidrogeoloških istraživanja, ukazavši na potencijalnost terena u pogledu geotermalnih i termomineralnih voda. Iako masivna po svom obimu (posebno tokom 80-tih i s početka 90-tih godina prošlog veka) dosadašnja istraživanja nisu se karakterisala multidisciplinarnim metodološkim pristupom, odnosno, istraživanjima nije bila obuhvaćena problematika uslova formiranja geotermalnih voda, maksimalnih očekivanih temperatura, njihove geneze, debljine flišnog povlatnog izolatora, mehanizama cirkulacije, prihranjivanja i sl. U naučnoj

literaturi koja se bavi geotermalnom problematikom, šire područje Brusa okarakterisano je kao teren sa izraženom geotermalnom anomalijom i razmatra se sa aspekta neogenih granitoidnih intruzija, kao delova terena perspektivnih za istraživanje i eksploataciju geotermalnih resursa. Opšte geotermalne karakteristike šire okoline Brusa i Bruske banje prikazuje Milivojević (1989) u svojoj doktorskoj disertaciji, karakterišući područje kao konvektivni hidrogeotermalni sistem u rov strukturi.

Hidrogeološka istraživanja koja su ukazala na geotermalnu perspektivnost podzemnih voda vršena su u više navrata, a najintenzivnije u periodu 1980-1992. godina. Istraživanja su vršena u dolini Graševačke reke (Prvanović, 1982; Milovanović, 1983a; Obrenović & Markov, 1983; Dimitrijević, 1983; Mićović, 1983), Vuča reke (Milovanović, 1983b; Stanković, 1988; Vojnović, 1988; Stanković, 1989) i na području Sudimlja-Žarevo (Samolov, 1987; Petrović, 1988; Krstić, 1989; Krstić, 1991; Krstić, 1992a; Krstić, 1992b). U sklopu tih istraživanja vršena su duboka bušenja, koja su rezultirala istražno-eksploatacionim bunarom BR-1/83 (700 m) u dolini Graševačke reke i istražnom bušotinom Vr-1 (905 m) u dolini Vuča reke. Kasnija istraživanja vršena su na istražno-eksploatacionom bunaru BR-1/83 za potrebe izrade elaborata o rezervama podzemnih voda (Simić i dr., 1998; Đokić, 2004).

Nova istraživanja imala su sistemski pristup oceni geotermalne potencijalnosti terena kroz analizu uslova formiranja geotermalnih resursa. Po prvi put postavljen je geotermalni model terena baziran na geološkim, geofizičkim, hidrogeološkim i hidrohemijским istraživanjima. Prvi korak u sagledavanju uslova formiranja resursa podrazumevao je definisanje elementa geotermalnog sistema - stena rezervoara, izvora toplotne energije, stena izolatora i načina prihranjivanja rezervoara fluidima. Drugi korak podrazumevao je proveru postavljenog geotermalnog modela primenom različitih istraživačkih metoda i postupaka. Rezultat istraživanja je konceptualni model hidrogeotermalnog sistema Brusa sa širom okolinom. Postavljeni konceptualni model karakteriše se sa dva nezavisna geotermalna rezervoara i dvojakim načinom prihranjivanja toplotnom energijom.

Kompleksnost u istraživanju rezultirala je obimnošću podatka, čiji je prikaz podjednako važan za razumevanje modela i uvida u celokupni metodološki postupak istraživanja geotermalne potencijalnosti terena. Zbog tehničke limitiranosti u vidu broja stranica teksta rada, Autori su se opredelili da rezultate prikažu u dva rada. U ovom radu prikazani su rezultati geoloških, geofizičkih i hidrogeoloških istraživanja, koji predstavljaju bazu modela. Prema modelu konstruisan je i prognozni litološki profil terena na lokalitetu Bruske banje do dubine od 2.300 m sa prognoznim temperaturama geotermalnih resursa.

U drugom radu, pod nazivom *Konceptualni hidrogeotermalni sistem šire okoline Brusa - geotermalna karakterizacija* prikazani su rezultati istraživanja vršenih u cilju potvrde i provere postavljenog konceptualnog modela.

## METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja bazirana je na kros-korelacionoj analizi grupe podataka čija kompilacija dovodi do jedinstvene informacije o potencijalnosti terena. Ulazni podaci dobijeni su primenom različitih geoloških i hidrogeoloških istraživačkih postupaka i metoda. Sa stanovišta geologije terena izvršena je analiza geološke evolucije terena i pregled litostratigrafskih jedinica sa izradom paleontoloških analiza uzorka. Paralelno su analizirane regionalne tektonske jedinice, regionalne rasedne strukture, lokalni rasedi i pukotinski sklop, kao i prostorni položaj i kinematika raseda. Na predmetnom terenu izvršena su geofizička ispitivanja na osnovu podataka gravimetrijskog i geomagnetskog premera na teritoriji Srbije. Sagledani su paleoindikator kroz analizu i interpretaciju starosti intruzija, distribuciju intruzija i očekivanih savremenih temperatura intruzija. Ove četiri grupe podataka rezultirale su geofizičko-geološkim modelom terena.

Hidrogeološka istraživanja vršena su sa aspekta definisanja hidrogeološke funkcije stena, uslova prihranjivanja izdani, pravaca kretanja podzemnih voda i uslova isticanja. Poreklo geotermalnih voda analizirano je kroz uprošćen hidrohemijški model terena. Prilikom postavke hidrohemijškog modela pošlo se od opštih zakonitosti formiranja hemijskog sastava podzemnih voda u slučaju njihovog atmosferskog porekla. Geološka sredina karakteriše se drugačijim uslovima od atmosferskih. Geološka sredina je bazna (karbonati i silikati) i redukciona (sulfidi, organski ugljenik i metan), dok u atmosferi vlada kisela sredina (prirodni CO<sub>2</sub>) i oksidacioni uslovi (kiseonik, azotni oksidi, sumpor-dioksid, nitrati, sulfati, itd.) (Stömberg & Banwart, 1994). Uprošćeni hidrohemijški model terena postavljen je kao dvoslojna sredina sa dve hidrohemijske zone. Kriterijum za izdvajanje zona u profilu terena je intenzitet procesa vodozamene.

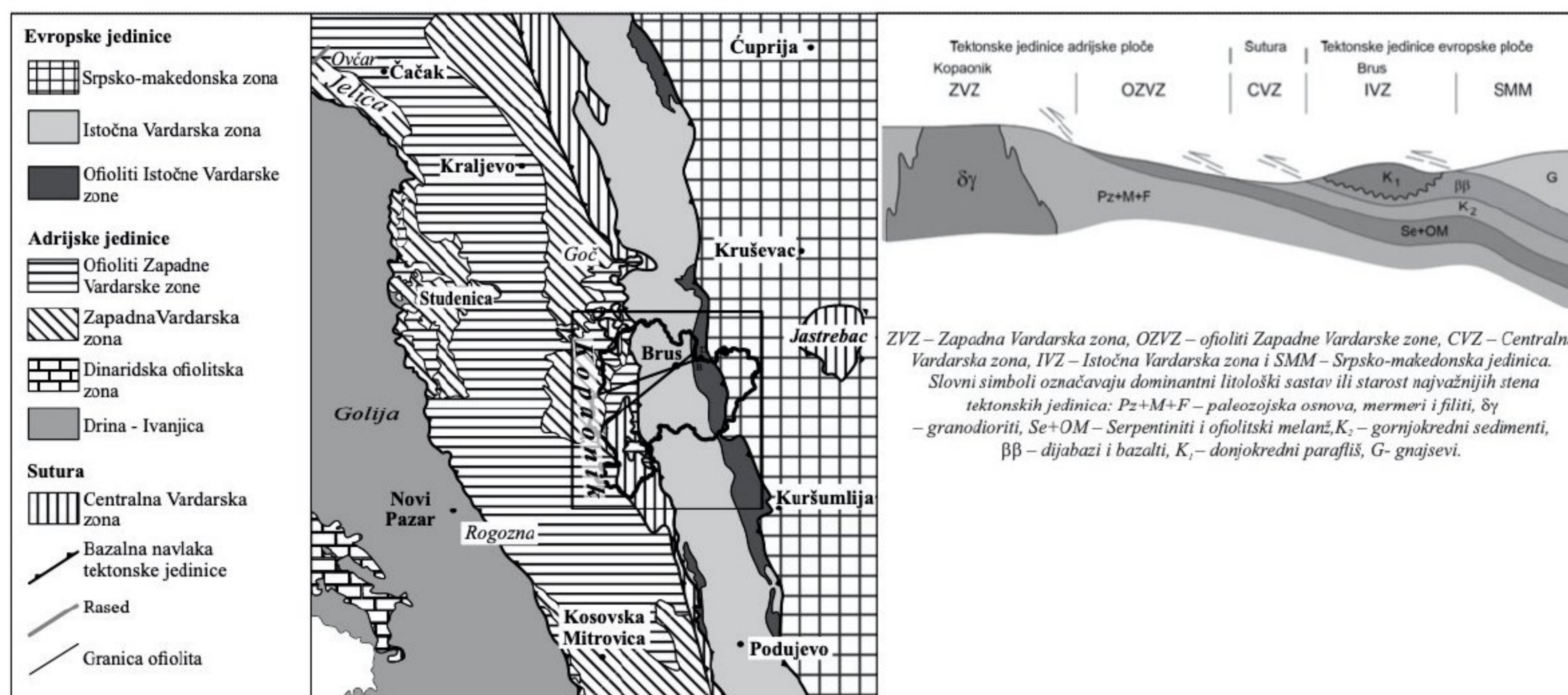
## PRIKAZ REZULTATA I DISKUSIJA

### Definisanje stena rezervoara

Regionalno posmatrano, predmetni teren se nalazi u zoni sučeljavanja dve mega jedinice - Adrije i Evrope (slika 1a). Za taj prostor vezuje se složena tektonsko-depoziciona evolucija, koja za rezultat ima

kompleksu geološku građu. Geološka evolucija praćena je procesom trijasko riftogeneze, srednjajurske subdukcije, gornjojurske obdukcije, zatim procesom subdukcije tokom krede, kontinentalne kolizije tokom paleogena, oligocensko-miocenskom ekstenzionom eshumacijom kopaoničkog i jasterbačkog metamorfnog kompleksa praćenom otvaranjem lokalnih i regionalnih neogenih basena i završnim procesom kompresione inverzije basena u gornjem miocenu. Složeni uslovi postanka terena suture uslovili su i različite pristupe tektonskoj rejonizaciji terena (Dimitrijević, 1995; Karamata, 2006; Marović et al., 2007; Schmid et al., 2008 i Toljić et al., 2019). U daljoj analizi strukturno-tektonske građe terena usvojena je tektonska rejonizacija postavljena od strane Toljić et al. (2019), koja prepoznaje četiri jedinice: Zapadnu Vardarsku Zonu (ZVZ) sa Ofiolitima Zapadne Vardarske Zone (OZVZ), Centralnu Vardarsku Zonu (CVZ) i Istočnu Vardarsku Zonu (IVZ). Na prostoru Brusa i šire okoline tektonske jedinice međusobno su odvojene regionalnim reversnim rasedima (slika 1b).

Jedinicu IVZ izgrađuju ofiolitski melanž i ofioliti reprezentovani serpentinitima, gabrovima i dijabazima, preko kojih su diskordantno deponovani plitkovodni klastično-karbonatni sedimenti titona, zatim titonsko-valendinski i donjokredni paraflisni sedimenti (Dimitrijević, 1995; Dimitrijević&Dimitrijević, 2009). U zoni Brusa ofioliti i jursko-donjokredni sedimenti (IVZ) navučeni su preko paketa sedimenata gornjokredne starosti CVZ, u čiju građu ulaze krečnjaci, brečo-konglomerati, laporoviti krečnjaci i laporaci. Jedinica CVZ navučena je preko serpentinita i ofiolitskog melanža (OZVZ). Sastavni deo ofiolitskog melanža su fragmenti i blokovi dijabaza, spilita, gabrova i gabro-dijabaza. U OZVZ podini formirane su stene kopaoničkog metamorfnog kompleksa: sericitsko-hloritski škriljci, hlorit-epidot-aktinolitski škriljci, mermeri i mermeritirani krečnjaci (ZVZ).



**Slika 1. a)** Tektonska karta izdvojenih mega-jedinića (Modifikovano: Toljić et al., 2019);

**b)** Šematski profil odnosa tektonskih jedinicića područja Brus - Kopaonik

**Fig. 1. a)** Tectonic map of the mega-unit (Modified: Toljić et al., 2019)

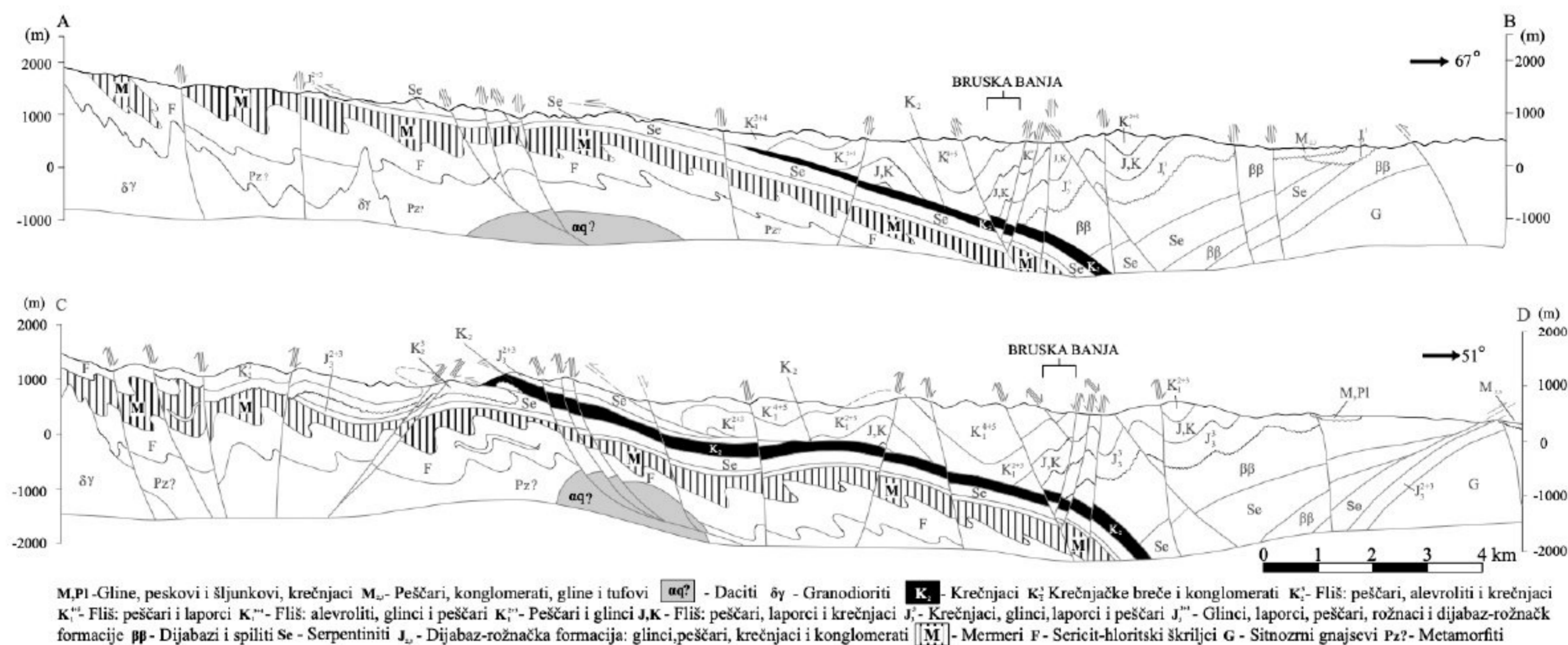
**b)** Schematic profile illustrating the relationship between the tectonic units in the Brus - Kopaonik area

Geološka građa terena dalje je analizirana u kontekstu postavke preliminarnog, opšteg modela geotermalnog sistema, sa ciljem izdvajanja potencijalnih stena-rezervoara. Na osnovu hidrogeološke građe terena i formiranih tipova izdani na širem istražnom terenu, kao potencijalni nosioci geotermalnih voda izdvojeni su krečnjaci gornjokredne starosti i mermeri trijasko starosti. U okviru pomenutih stena formiran je pukotinski tip izdani. Dreniranje izdani u okviru mermera odvija se preko izvora i vrela čija izdašnost dostiže do 40 l/s.

Površinsko razviće krečnjaka gornjokredne starosti konstatovano je na jugoistočnim padinama Kopaonika, na putu Brzeće-Brus. Ukupna sačuvana debljina krečnjaka na opserviranom profilu se kreće oko 50 m. U višim nivoima krečnjaci prelaze u laporovite i glinovito-laporovite krečnjake, tj. u laporovite flišne sedimente. Krečnjaci su uzorkovani sa dva lokaliteta za izradu mineraloško-petrološke analize. Uzorak stene sa lokaliteta Radmanovo pokazao je zatupljenost kalcita sa oko 90% vol. stene. Prema petrološkim karakteristikama i mineralnom sastavu stena je okarakterisana kao peskoviti krečnjak. Konstatovano je i prisustvo zrna kvarca. Drugi uzorak sa lokaliteta istočno od Paljevštiće, predstavljen je laporovitim krečnjakom u kome takođe dominira sadžaj kalcita, dok je sadržaj kvarca do 1% volumena.

Površinsko razviće mermera konstatovano je na istočnoj periferiji Kopaoničkog masiva. Metamorfisane stene niskog stepena metamorfizma mogu se pratiti u zoni promenjive širine od gornjeg toka Milentije na severu, preko Krive Reke, gornjeg toka Brzečke reke do Suvog Rudišta na jugu Kopaonika. Mermeri su uzorkovani na izdanačkoj zoni u rejonu Srebrnika i u području Bele Reke. U oba uzorka dominira rekristalisani kalcit. U uzorcima je konstatovano i prisustvo kvarca.

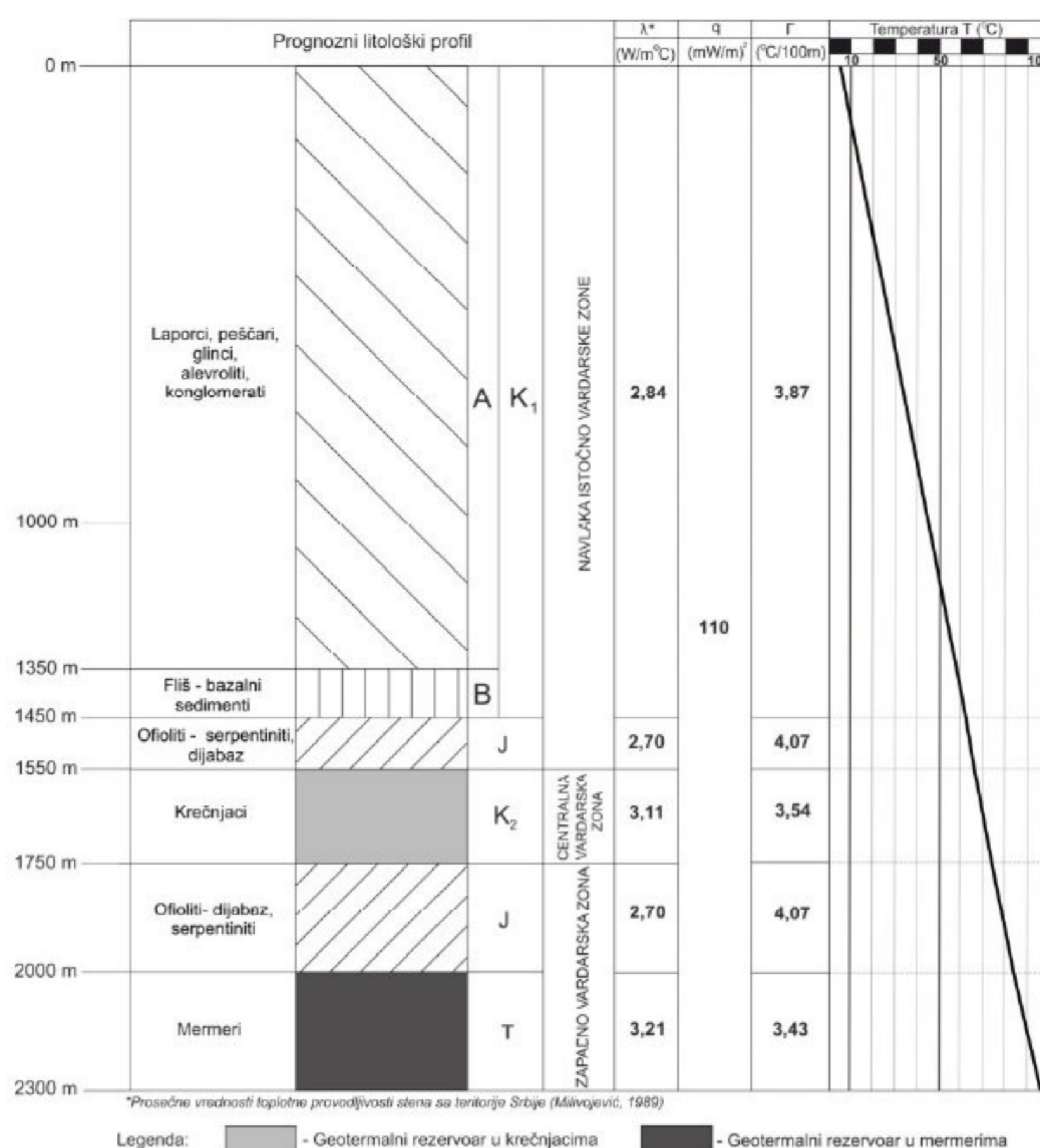
Rasprostranjenje krečnjaka i mermera u profilu terena prikazano je na slici 2. Sa profila se uočava da je zaleganje prvog rezervoara u okviru krečnjaka pliče u odnosu na rezervoar u okviru mermera. Pretpostavljene geotermalne rezervoare odvaja debeli ofiolitski paket sedimenata. U okviru geotermalnog sistema formirani su i sekundarni rezervoari i to u okviru bazalne serije donjokrednog fliša i u okviru serpentinita i dijabaza. Pretpostavljena dubina zaleganja stena-rezervoara mezozojske starosti je preko 1500 m (krečnjaci), odnosno preko 2000 m (mermeri). Povlatni izolator prvog geotermalnog rezervoara predstavljen je debelim donjokrednim flišnim naslagama. Razviće flišnog paketa konstatovano je i bušenjem. Bunar BR-1/83 (700 m) izbušen je u donjokrednim flišnim sedimentima predstavljenim arenitima, peščarima, krečnjacima, brečama, peščarskim brečama i konglomeratima. Bušotina Vr-1 takođe je duž celog profila izbušena u flišnim sedimentima kredne starosti, predstavljenim laporcima, peščarima, laporovito-peskovitim arenitima sa proslojcima krečnjaka. Bočni i podinski izolatori predstavljeni su stenama mezozojske i paleozojske starosti.



**Slika 2.** Razviće krečnjaka i mermera u geološkom profilu istražnog terena  
**Fig. 2.** Distribution of limestone and marble in the geological profile of the research area

Na osnovu sagledanih odnosa tektonskih jedinica na širem istražnom terenu i njihove litostratigrafske građe, konstruisan je prognozni litološki profil na lokaciji Bruske banje (slika 3).

Očekivana dubina povlate prvog geotermalnog rezervoara u krečnjacima iznosi oko 1550 m. Prosečna debljina gornjokrednih krečnjaka procenjena je na 150-200 m. U bazi krečnjaka mogu se očekivati konglomerati i konglomeratične breče izgrađene od valutaka škriljaca, kvarcita, serpentinita, dijabaza, gabrova i krečnjaka. Ulazak u geotermalni rezervoar u okviru mermera očekuje se na oko 2000 m. Procenjena prosečna debljina mermera je 250-300 m. Litološki profil prati temperaturni dijagram i očekivane vrednosti temperature za svaku litološku sredinu. Prognozne temperature u okviru geotermalnog rezervoara u krečnjacima kreću se u opsegu 70-80 °C. Primenom kvarcnog SiO<sub>2</sub> geotermometra na termomineralne vode iz BR-1/83 i Vr-1 potvrđen je prognozni temperaturni interval. Na osnovu maksimalnih očekivanih temperatura u krečnjačkom rezervoaru i geotermalnog gradijenta, procenjena dubina cirkulacije geotermalnih voda na delu Bruske banje je oko 1700 m. Maksimalna očekivana temperatura u okviru mermera je oko 100 °C.



**Slika 3.** Šematski prognozni litološki profil terena na lokaciji Bruske banje  
**Fig. 3.** Schematic lithological profile of the terrain at the location of Bruska banja spa

#### Izvor toplote u geotermalnom sistemu

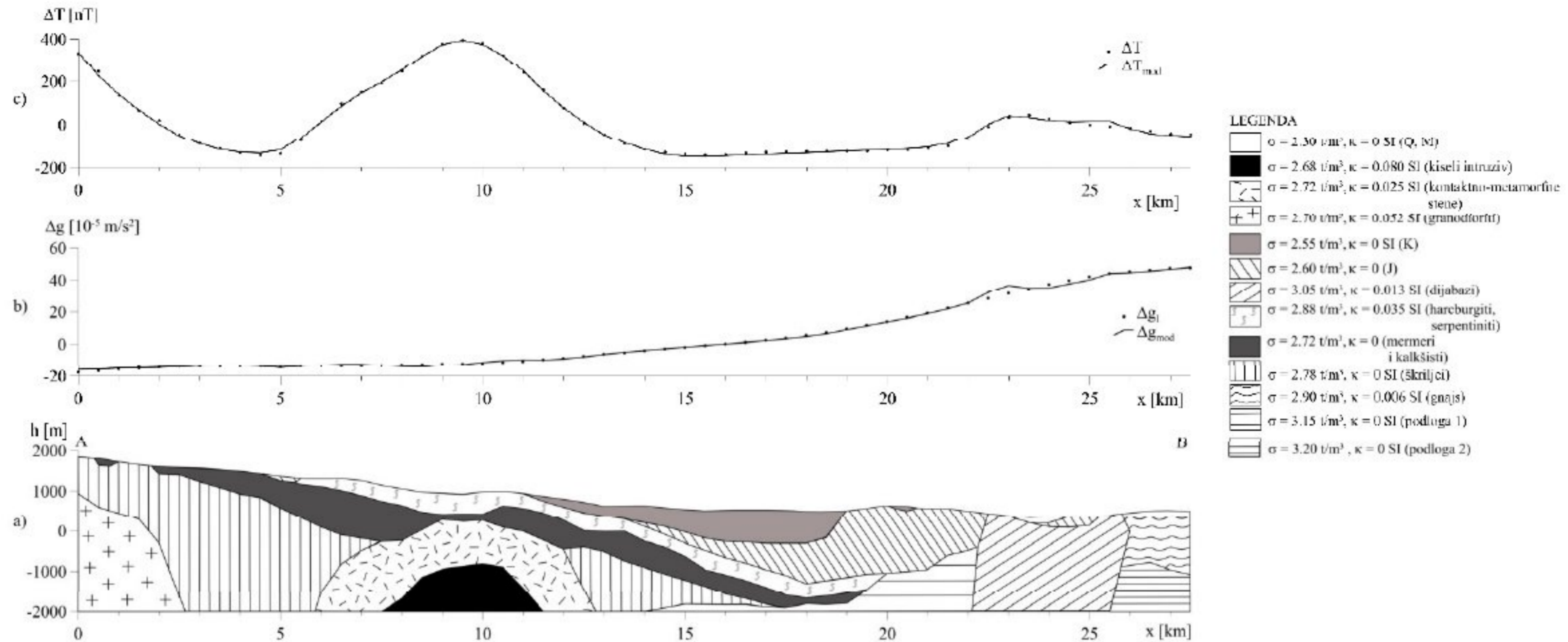
Prihranjivanje geotermalnog sistema toplotnom energijom odvija se dvojako. Prvi način je iznošenje toplote terestičnim toplotnim tokom kroz podinske stene paleozoika (škriljci, filiti) ka površini terena. Vrednost toplotnog toka na posmatranom području je povišena i iznosi 110 mW/m<sup>2</sup> (Milivojević i Martinović, 2005). Drugi način se vezuje za postojanje mlade magmatske intruzije koja još uvek nije ohlađena i kao takva predstavlja potencijalni izvor toplote na predmetnom terenu. Geofizička ispitivanja ovog dela terena prepoznala su potpovršinsko geološko telo nepravilne morfologije. Telo je izdvojeno na osnovu izražene pozitivne anomalije totalnog magnetnog polja, koja se nalazi u zoni generalno negativnih gravimetrijskih anomalija. Negativne gravimetrijske anomalije i pozitivne geomagnetne anomalije karakteristične su za kisele magmatske stene. Na slici 4 prikazan je geofizičko-geološki model terena sa pretpostavljenim položajem novootkrivenog magmatskog tela generalnog pravca orijentacije S-J. Oko intruzije je razvijena zona kontaktno-metamorfisanih stena. U korelaciji sa geološkom građom terena zaključuje se da je magmatsko telo intrudovano paralelno pružanju suture, najverovatnije u uslovima ekstenzione reaktivacije ovog reološki najslabijeg područja orogena (slika 2).

Severoistočna periferija magmatskog tela kontrolisana je rasednom strukturom pravca pružanja SZ-JI, koji ima strmi pad ka severoistoku. Takođe, centralni i južni deo intruzije je afektiran asocijacijom raseda pravca pružanja ZSZ-IJI, sa padom ka SSI. Rasedi su hidrotermalno aktivni, na šta ukazuju izmenjene (alterisane) stenske mase opservirane u zoni Radmanova. Podaci su ukazali da je potpovršinska kiselina intruzija tokom i nakon intrudovanja tektonski modifikovana i da su duž raseda na njoj periferiji cirkulisali hidrotermalni fluidi visokih temperatura.

#### Prihranjivanje geotermalnih rezervoara fluidima

U okviru stena-rezervoara formirani su hidrogeotermalni resursi. Uprošćeni hidrogeohemijski model terena ukazao je na atmosfersko poreklo geotermalnih voda. Vrednosti stabilnih izotopa analiziranog uzorka termomineralnih voda su takođe ukazale na atmosfersko poreklo. Prema modelu, prva hidrohemijaska zona obuhvata gornje delove terena koji se karakterišu brzom vodozamenom. Druga hidrohemijaska zona vezana je za dublju cirkulaciju podzemnih voda i obuhvata geotermalni rezervoar u krečnjacima, odnosno u mermerima. Druga zona je zona otežane vodozamenom i sadržaj anjona se menja u pravcu HCO<sub>3</sub> → SO<sub>4</sub> → Cl, dok sadržaj Ca opada na račun povećanja Na i Mg. U prvoj zoni dolazi do formiranja Ca-HCO<sub>3</sub> voda, da bi usled procesa jonske izmene, koja se dešava u kontaktu flišnih, glinovito-laporovitih sedimenata, podzemne vode obogatile jonima Na<sup>+</sup> i formirale Na-HCO<sub>3</sub> tip. Pretpostavljeni ulazak atmosferskih voda u geotermalni sistem je u zapadnom i jugozapadnom delu terena. Kretanje hidrogeotermalnih voda je kontrolisano rasednim strukturama. Za predmetni teren karakteristični su gravitacioni rasedi, koji su usled višefaznog magmatizma imali nekoliko faza reaktivacije i predstavljaju aktivne zone duž kojih se kreću fluidi,

uključujući i gasove (CO<sub>2</sub>) iz dubljih delova terena (preko 2 km). Usled prisustva CO<sub>2</sub> i njegove migracije duž raseda i pukotina iz većih dubina, podzemne vode se bogate ovim gasom formirajući ugljikiseli tip voda. Gravitacioni rasedi kontrolišu i isticanje geotermalnih voda na površinu terena.



**Slika 4. Geofizičko-geološki model terena**  
**Fig. 4. Geophysical-geological terrain model**

## ZAKLJUČAK

Interpretacijom podataka primenom postupka kros-korelacione analize zaključeno je da je na predmetnom terenu formiran "hibridni" hidrogeotermalni sistem, koji sadrži elemente hidrogeotermalnog sistema u rov-strukturi i elemente konvektivnog hidrogeotermalnog sistema sa rezervoarom u pokrivaču granitoidne intruzije. Sistem čine dva nezavisna hidrogeotermalna rezervoara formirana u gornjokrednim krečnjacima na dubini od oko 1550 m i u okviru mermera trijaskne starosti na dubini od oko 2000 m. Pretpostavljena maksimalna očekivana temperatura hidrogeotermalnih resursa u krečnjačkom rezervoaru je 70-80 °C. Očekivana maksimalna temperatura hidrogeotermalnih resursa u mermerima je 100 °C. Hidrogeotermalne vode pripadaju Na-HCO<sub>3</sub> tipu, a prema gasnom sastavu svrstavaju se u ugljikisela vode.

## ZAHVALNOST

Istraživanja su realizovana u okviru naučne studije "Geotermalni i termomineralni potencijal hidrogeoloških resursa na teritoriji opštine Brus." Studija je finansirana od strane Opštinske uprave Brus, na čelu sa predsednicom opštine Valentinom Milosavljević. Autori se zahvaljuju na ukazanom poverenju i podršci tokom realizacije studije.

## LITERATURA

- Dimitrijević, M., 1983: *Izveštaj o sedimentološkim ispitivanjima krednog kompleksa iz bušotine B - Okolina Brusa*, RO Geološki institut, Beograd
- Dimitrijević, M.N., Dimitrijević, M.D., 2009. *The lowercretaceous paraflysch of the Vardar zone: Composition and fabrics* Geološki anali Balkanskog poluostrva, 70, p. 9-21
- Dimitrijević, M.D. 1995. *Geologija Jugoslavije*, Beograd, Geoinstitut-Barex, p. 187
- Đokić, I., 2004: *II Elaborat o rezervama termomineralnih voda iz bušotine Br-1/83 Graševačka reka-Brus*, Institut za Hidrogeologiju Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- Marović, M., Đoković, I., Toljić, M., Spahić, D. i Milivojević, J., 2007. *Extensional Unroofing of the Veliki Jastrebač Dome (Serbia)*. Annales Geologiques de la Peninsule Balkanique 68, 21-27
- Milivojević, M., Martinović, M., 2005: *Geothermal energy possibilities, exploration and future prospects in Serbia*, Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey
- Milivojević, M., 1989: *Otkrivena geotermalnih resursa teritorije SR Srbije van teritorija SAP*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

- Milovanović, B., 1983a: *Osnovna hidrogeološka istraživanja termomineralnih i ugljikiselih voda u okolini Brusa (Graševačka reka) – (II faza istraživanja)*, Geozavod, RO institut za hidrogeološka i geotehnička istraživanja, Beograd
- Milovanović, B., 1983b: *Projekat II faze istraživanja termomineralnih voda u lokalnosti Vuča*, Geozavod, RO institut za hidrogeološka i geotehnička istraživanja, Beograd
- Mićović, J., 1983: *Kompletna fizičko-hemijska analiza mineralne vode iz bušotine BL iz Brusa, ložirano na levoj obali Graševačke reke i stručno mišljenje o njenoj teraoidskoj vrednosti*, Institut za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju SRS OOUR zavod za interne bolesti „dr Vlastimir Godić“, Beograd
- Karamata, S., 2006. *The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwana and Eurasian units*. In: Robertson, A.H.F., Mountrakis, D. (Eds.), *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean region*, 260. Geological Society, London, pp. 155–178 (Special Publication)
- Krstić, S., 1989: *Informacija o rezultatima hidrogeoloških istraživanja ugljikisele vode u lokalnosti Donji Levići (Rasadnik kod Blaževa, SO Brus)*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživana mineralnih sirovina, Beograd
- Krstić, S., 1991a: *Elaborat o rezervama ugljikisele termomineralne vode u nalazištu Sudimlja kod Blaževa SO Brus*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživana mineralnih sirovina, Beograd
- Krstić, S., 1991b: *Godišnji izveštaj - hidrogeološka istraživanja ugljokisele termomineralne vode u Kačaruši, SO*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživana mineralnih sirovina, Beograd
- Vojnović, P., 1988: *Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine Vr-1 u Brusu*, RO Nafta-Gas, Beograd
- Krstić, S., 1992: *Izveštaj o izradi istražno-opitnog bunara Bn-2/91 u Sudimlji kod Blaževa*, RO institut za hidrogeološka i geotehnička istraživanja, Beograd
- Obrenović, D., Markov, P., 1983: *Izveštaj o geofizičkom karotažu bušotine B-1 u Brusu (druga faza)*, RO Geofizički institut, Beograd
- Petrović, D., 1988: *Izveštaj o mikroskopskom ispitivanju preparata stena iz bušotine B-1/88*, RO Geozavod. Odeljenje za istraživanje mineralnih sirovina, Beograd
- Prvanović, M., 1982: *Izveštaj I faze istraživanja osnovnih hidrogeoloških istraživanja termomineralnih i ugljikiselih voda u okolini Brusa (Vuča reka i Graševačka reka)*, Geozavod, RO institut za hidrogeološka i geotehnička istraživanja, Beograd
- Stanković, S., 1989: *Izveštaj o izradi istražne bušotine VR-1, Vuča reka kod Brusa*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživana mineralnih sirovina, Beograd
- Samolov, V., 1987: *Studija o fizičkim svojstvima stenske mase za istraživanja ugljikiselih voda na objektu Donje Levići na osnovu geoelektričnih parametara*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživanja mineralnih sirovina, Beograd
- Simić, M., i dr., 1998: *Elaborat o rezervama termomineralnih voda iz bušotine B-1/83 Graševačka reka kod Brusa*, Institut za Hidrogeologiju Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- Stanković, S., 1988: *Izveštaj o tehničkoj kontroli uprošćenog rudarskog projekta istražne geotermalne bušotine Vr-1 u Vuča reki kod Brusa*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživana mineralnih sirovina, Beograd
- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. and Ustaszewski, K., 2008. *The Alpine – Carpathian – Dinaric orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units*. *Swiss Journal of Geoscience*, 101, 139–183
- Strömberg, B., Banwart, S., 1994: *Kinetic modelling of geochemical processes at the Aitik mining waste rock site in northern Sweden*, *Applied Geochemistry*, Volume 9, Issue 5, 1994, Pages 583-595, ISSN 0883-2927
- Toljić, M., Stojadinović, U., Krstekanjić, N., 2019: *Vardar zone: New insights into the tectono-depositional subdivision*, *Zbornik radova II Kongres geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem*, Laktaši, 2-4 Oktobar, 2019



