

Konceptualni model hidrogeotermalnog sistema šire okoline Brusa - geotermalna karakterizacija sistema / Conceptual model of hydrothermal system of Brus area - system geothermal characterization

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 - geotermalna karakterizacija sistema / Conceptual model of hydrothermal system of Brus area - system geothermal characterization | Dejan Milenić, Ana Vranješ, Marinko Toljić, Ivana Vasiljević, Natalija Radosavljević, Matija Ognjanović | XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem , Pirot, Serbia, 02-06. October 2024 | 2024 | |

10.5281/zenodo.13739443

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009103>

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

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

KONCEPTUALNI MODEL HIDROGEO TermALNOG SISTEMA ŠIRE OKOLINE BRUSA - GEOTERMALNA KARAKTERIZACIJA SISTEMA

CONCEPTUAL MODEL OF HYDROTHERMAL SYSTEM OF BRUS AREA - SYSTEM GEOTHERMAL CHARACTERIZATION

Dejan Milenić¹, Ana Vranješ¹, Marinko Toljić¹, Ivana Vasiljević¹, Natalija Radosavljević¹, Matija Ognjanović¹

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

APSTRAKT: Postavljeni konceptualni model hidrogeotermalnog sistema Brusa sa širom okolinom testiran je primenom različitih hidrohemijskih i izotopskih metoda u cilju njegove verifikacije i karakterizacije. Rezultati su ukazali na atomsfersko poreklo geotermalnih fluida i na razviće primarnih rezervoara u okviru karbonatnih stena. Prvi rezervoar formiran je u okviru krečnjaka gornjotrijakse starosti, dok drugi rezervoar egzistira u okviru trijskaih mermera. Zone prihranjivanja locirane su u zapadnom delu terena. Sistemi gravitacionih raseda kontrolišu kretanje fluida u sistemu, dok proces jonske izmene dominira u formiranju hemizma pod uticajem temperature. Sistem se prihranjuje toplotnom energijom dvojako, kondukcijom kroz podinske stene paleozoika i na račun neohlađene magmatske intruzije. Procenjena temperatura magmatskog tela na pretpostavljenoj dubini od 2.5-3 km je 100-120 °C. Procenjene maksimalne temperature u prvom rezervoaru su u opsegu 70-80 °C. Očekivana maksimalna temperatura hidrogeotermalnih resursa u mermerima je do 100 °C.

Ključne reči: Hidrogeotermalni sistem, hidrohemijske i izotopske metode, mladi intruzivi

ABSTRACT: The conceptual model of the hydrothermal system of the Brus area was verified using various hydrochemical and isotopic techniques. The results showed that the geothermal fluids have an atmospheric origin and that the primary reservoirs develop within carbonate rocks. The first reservoir was formed within the Upper Triassic limestone, while the second was located within the Triassic marble. Recharging zones are situated in the western part of the area. Gravitational fault systems control the movement of fluids, and the ion exchange process dominates the groundwater chemistry under the influence of temperature. The system receives thermal energy in two ways: through conduction in the Paleozoic basement rocks and uncooled magmatic intrusion. The estimated temperature of the magmatic body at a depth of 2.5-3 km is 100-120 °C. The expected maximum temperature of hydrothermal resources in marbles is up to 100 °C, while the estimated maximum temperatures in the first reservoir range from 70-80 °C.

Key words: Hydrothermal system, hydrochemical and isotope methods, young magmatic intrusions

UVOD

Hidrogeotermalni sistem područja Brusa sa širom okolinom postavljen je u obliku geotermalnog konceptijskog modela. Istraživanja vršena na području opštine Brus imala su zadatak da definišu uslove i mogućnosti formiranja visokotemperaturnih voda. Model je baziran na podacima geoloških istraživanja kroz analizu litostratigrafskih jedinica, tektonskih karakteristika i podataka petrološko-mineraloških istraživanja. Paralelno, vršena su geofizička i hidrogeološka istraživanja u cilju definisanja porekla toplotne energije u sistemu, uslova formiranja potencijalnih geotermalnih rezervoara i uslova i načina prihranjivanja sistema fluidima. Kros-korelativna interpretacija podataka rezultirala je modelom geotermalnog sistema koji je definisan kao "hibridni" hidrogeotermalni sistem sa dva nezavisna hidrogeotermalna rezervoara. Model sadrži elemente sistema u rov-strukturi i elemente konvektivnog hidrogeotermalnog sistema sa rezervoarom u pokrivaču granitoidne intruzije. Prvi rezervoar je formiran u krečnjacima gornjokredne starosti na procenjenoj dubini od oko 1550 m. Drugi rezervoar zaleže na prognoznoj dubini od oko 2000 m i formiran je u okviru mermera trijaskne starosti. Metodologija i rezultati istraživanja koji su doveli do formiranja konceptualnog modela prikazani su u radu pod nazivom "Konceptualni model hidrogeotermalnog sistema šire okoline Brusa - geološki, geofizički i hidrogeološki uslovi".

Po formiranju modela pristupilo se potvrdi i proveriti istog. Potvrda modela podrazumevala je interpretaciju podataka dobijenih izradom hemijskih i izotopskih analiza uzoraka podzemnih voda sa istražnog terena. Pretpostavljeni izvori toplotne energije u geotermalnom sistemu analizirani su sa aspekta

magmatskih aktivnosti na predmetnom terenu i brzine hlađenja granitoidne intruzije. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koja su ukazala na postojanje geotermalnih rezervoara karbonatnog porekla, definisano je poreklo i geneza geotermalnih voda, na osnovu hemizma definisana je maksimalna očekivana temperatura u geotermalnom rezervoaru, i utvrđen je izvor toplotne energije u sistemu. Primjenjene istraživačke metode potvrdile su osnovanost postavke konceptualnog modela hidrogeotermalnog sistema.

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja podrazumevala je primenu seta hidrohemijskih i izotopskih metoda. Za utvrđivanje porekla geotermalnih voda korišćena je metoda stabilnih izotopa deuterijuma δD (2H) i kiseonika $\delta^{18}O$, dok je geneza voda interpretirana kroz primenu metode genetskih parametara (D'Amore et al., 1983). Vrednosti genetskih parametara korelisane su sa litološkim članovima u prethodno definisanom geološkom profilu terena. Za interpretaciju uslova formiranja geotermalnih voda korišćena je i *Rock Source Deduction* metoda, dostupna u okviru softverskog paketa Aqua Chem 10. Primjenjena je i analiza izotopa ugljenika $\delta^{13}C$ u kontekstu izučavanja geotermalne potencijalnosti terena, kao indikatora postojanja krečnjačkih rezervoara geotermalnih resursa. Primenom izotopa ^{14}C (DIC14 - rastvoreni neorganski ugljenik) određena je starost voda. Za potrebe proračuna prognoznih temperatura u potencijalnom geotermalnom rezervoaru korišćena je metoda hemijskih geotermometara (SiO_2 ; Na-K i Na-K-Ca; K-Mg; Na-Ca; K-Ca i Na-Li) (Fournier, 1977; Fournier, 1979; Arnorsson 1983; Giggenbach, 1988).

Prethodna geofizička istraživanja, koja su ukazala na neotkriveno magmatsko telo, korelisana su i interpretirana u skladu sa opserviranim rasednim zonama i makroskopskim izgledom litoloških izdanaka u pojedinim delovima terena. Izvršena je analiza indikatora magmatskih procesa i razmatrani su rezultati metode radiometrijskog datiranja granitoidne intruzije Kopaoničke oblasti.

PRIKAZ REZULTATA I DISKUSIJA

Poreklo i geneza geotermalnih voda

Analiza hidrohemijskih karakteristika podzemnih voda izvršena je na pet uzoraka termomineralnih i mineralnih voda. Uzorkovanje je izvršeno na hidrogeološkim objektima na lokalitetu Bruske banje (BR-1/83), Vuča reke (Vr-1/90), Sudimlje (Bn-1/91), Kačaruše (K-4/90) i Žareva (Ž-1/92). Podzemne vode Bruske banje i Vuča reke pripadaju istom tipu voda, Na- HCO_3 . Sa lokaliteta Sudimlje i Kačaruše podzemne vode pripadaju Na-Ca- HCO_3 tipu, dok u Žarevu podzemne vode karakteriše Ca-Mg- HCO_3 tip (slika 1). Svi analizirani uzorci odlikuju se povišenom mineralizacijom, koja se kreće u opsegu od 1.5 g/l (BR-1/83) do 2,5 g/l (Kačaruša i Žarevo). Prema gasnom sastavu svi analizirani uzorci pripadaju ugljikoselim vodama. pH vrednost varira od 6,4 u Žarevu do 7,1 u Bruskoj banji. Najviša temperatura na površini terena izmerena je u Bruskoj banji, 27,5 °C, a najniža u Žarevu (15 °C). Temperatura podzemnih voda na lokalitetu Vuča reke, Sudimlje i Kačaruše se kreće u intervalu 20-21°C. Od mikrokomponenta javljaju se povišene koncentracije Sr, SiO_2 , Li i F na lokalitetu Bruske banje i Vuča reke. Na lokalitetu Sudmilje javlja se Sr, Li i Ra, odnosno na lokalitetu Kačaruše Sr, Li, F, Ba i u Žarevu Sr i Ba.

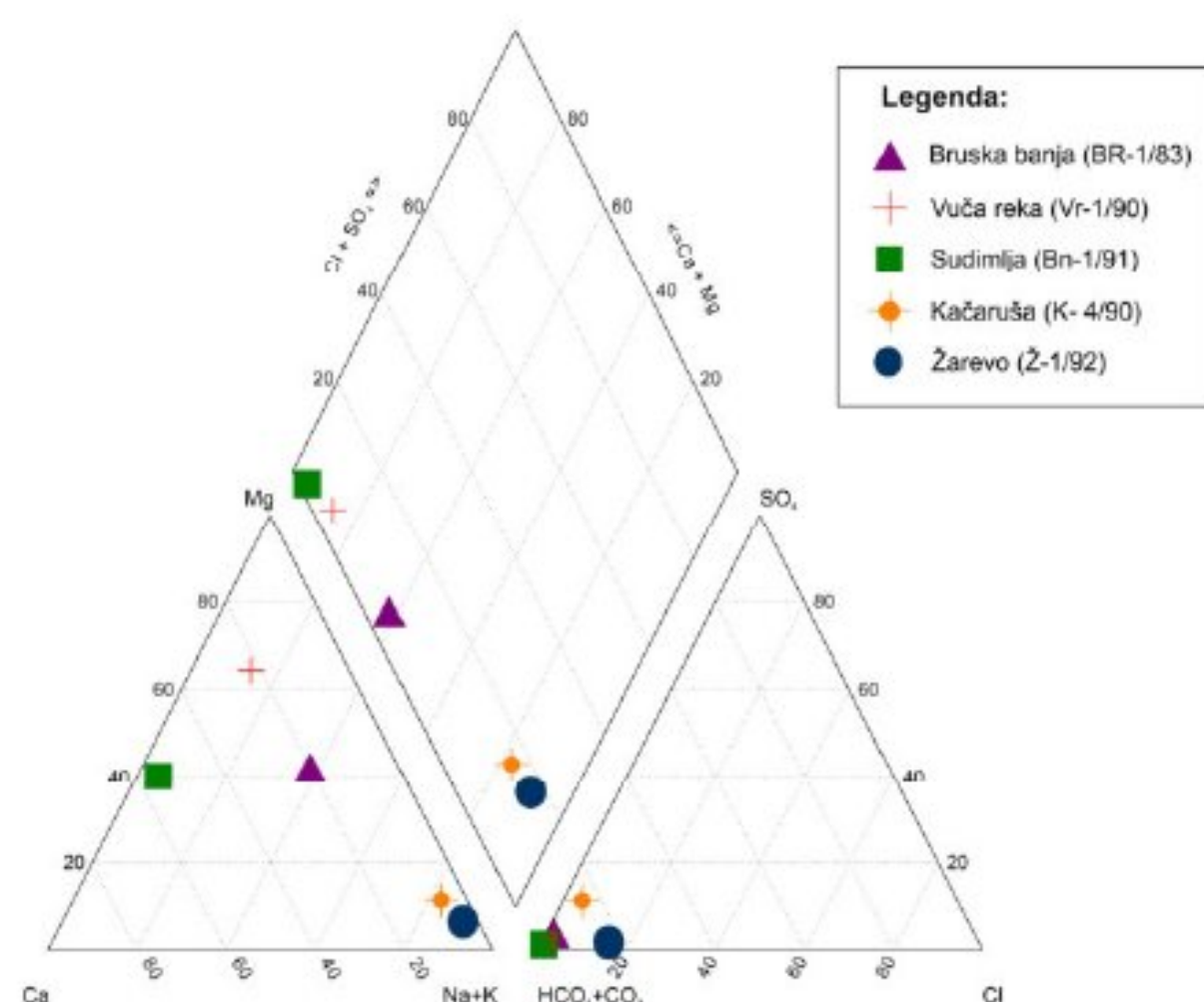
Interpretacija podataka dobijenih metodom genetskih parametara pokazala je da kaptirane vode sa lokaliteta Bruske banje i Vuča reke pripadaju klastičnom tipu voda. Na lokalitetu Sudimlje podzemne vode su mešoviteg tipa – karbonatno-klasitičnog, dok u Kačaruši i Žarevu pripadaju karbonatnom tipu. Iz analize se zaključuje da su primarni rezervoari na svih pet lokacija formirani u okviru karbonatnih stena. Odnos hemijskih parametara podzemnih voda u Bruskoj banji i Vuča reci ukazuje da podzemne vode cirkulišu kroz karstnu sredinu i da su u kontaktu sa flišnim, glinovito-laporovitim sedimentima, na šta jasno upućuje odnos natrijuma i hlora. Vrednost odnosa natrijuma i magnezijuma isključuje mogućnost cirkulacije podzemnih voda kroz dolomitične krečnjake, ali ne i kroz stene bogate sulfatima. Na ostale tri lokacije rezultati ukazuju da je sekundarni rezervoar formiran na nešto plićim dubinama u odnosu na lokaciju Brusa i Vuča reke. Na to ukazuje kontakt sa metamorfnim stenama i izostanak stena bogatih sulfatima. Na lokalitetima Kačaruše i Žareva odnos natrijuma i kalijuma upućuje na mogući kontakt sa dolomitičnim krečnjacima.

Kao indikator razvića krečnjaka na istražnom terenu analizirane su vrednosti ugljenika $\delta^{13}C$ u vodama Bruske banje. Izmerena vrednost iznosi -2.50 ‰ PDB¹, što prema Batard et al. (1982) ukazuje na njegovo endogeno, metamorfno poreklo. Milivojević (1982) navodi da ukoliko su vrednosti (vezanog ugljenika u HCO_3 jonima) izotopa ugljenika u opsegu od -2 ‰ do +6 ‰ PDB, hidrokarbonati su nastali iz

¹ Standard V-PDB (Vienna – Peedee Belemnite) sa tačnošću od ± 0.1 ‰.

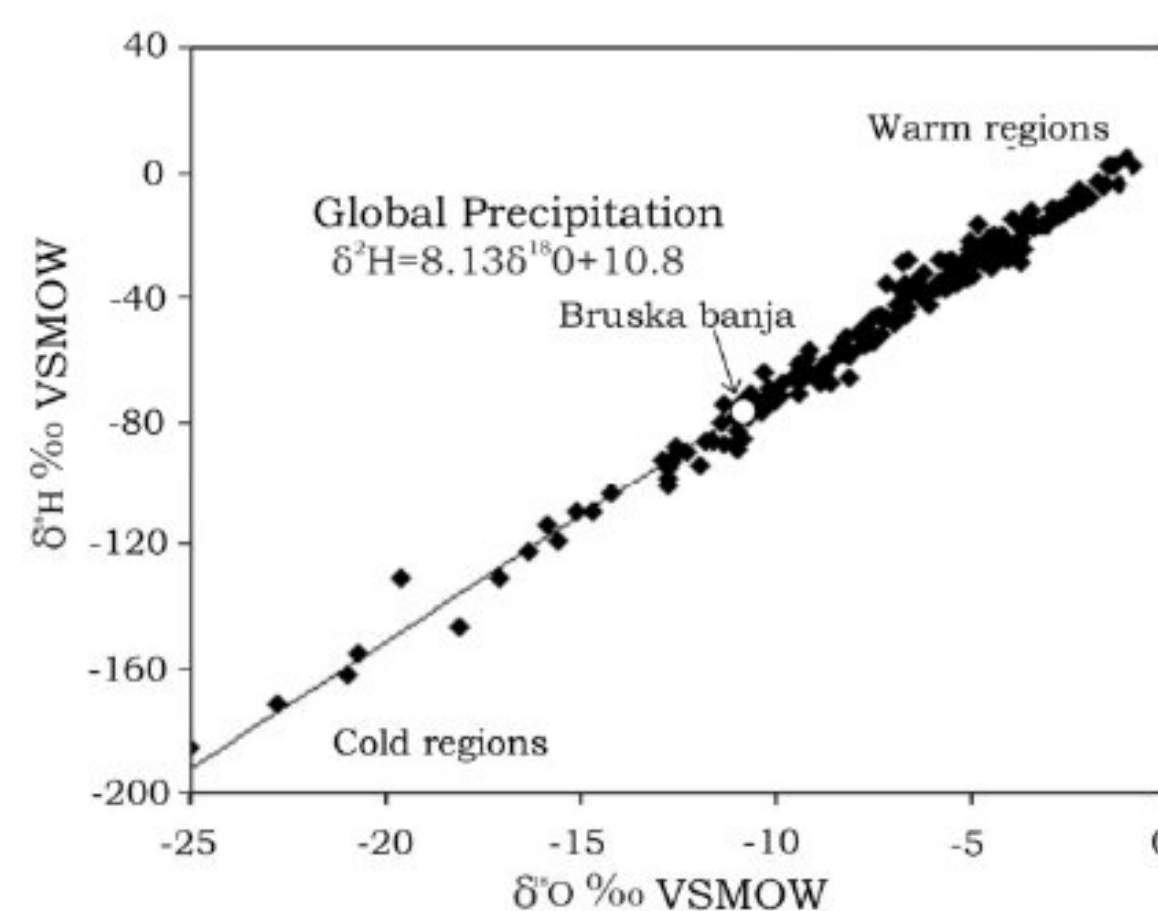
reakcije vode i ugljenika magmatskog porekla. Bergfeld et al. (2001) navode krečnjake, karbonate i laporce kao moguće sredine u kojima je formiran ugljenik, pri ovim vrednostima.

Vrednosti stabilnih izotopa određeni su na uzorku podzemnih voda Bruske banje. Nanošenjem vrednosti izotopa δD i $\delta^{18}O$ na globalnu meteorsku liniju, uočava se minimalno odstupanje, što upućuje na atmosfersko poreklo podzemnih voda (slika 2). Ranija ispitivanja porekla podzemnih voda na području Sudimlje, takođe su ukazala na atmosfersko poreklo (Krstić, 1991).



Slika 1. Pajperov dijagram analiziranih podzemnih voda

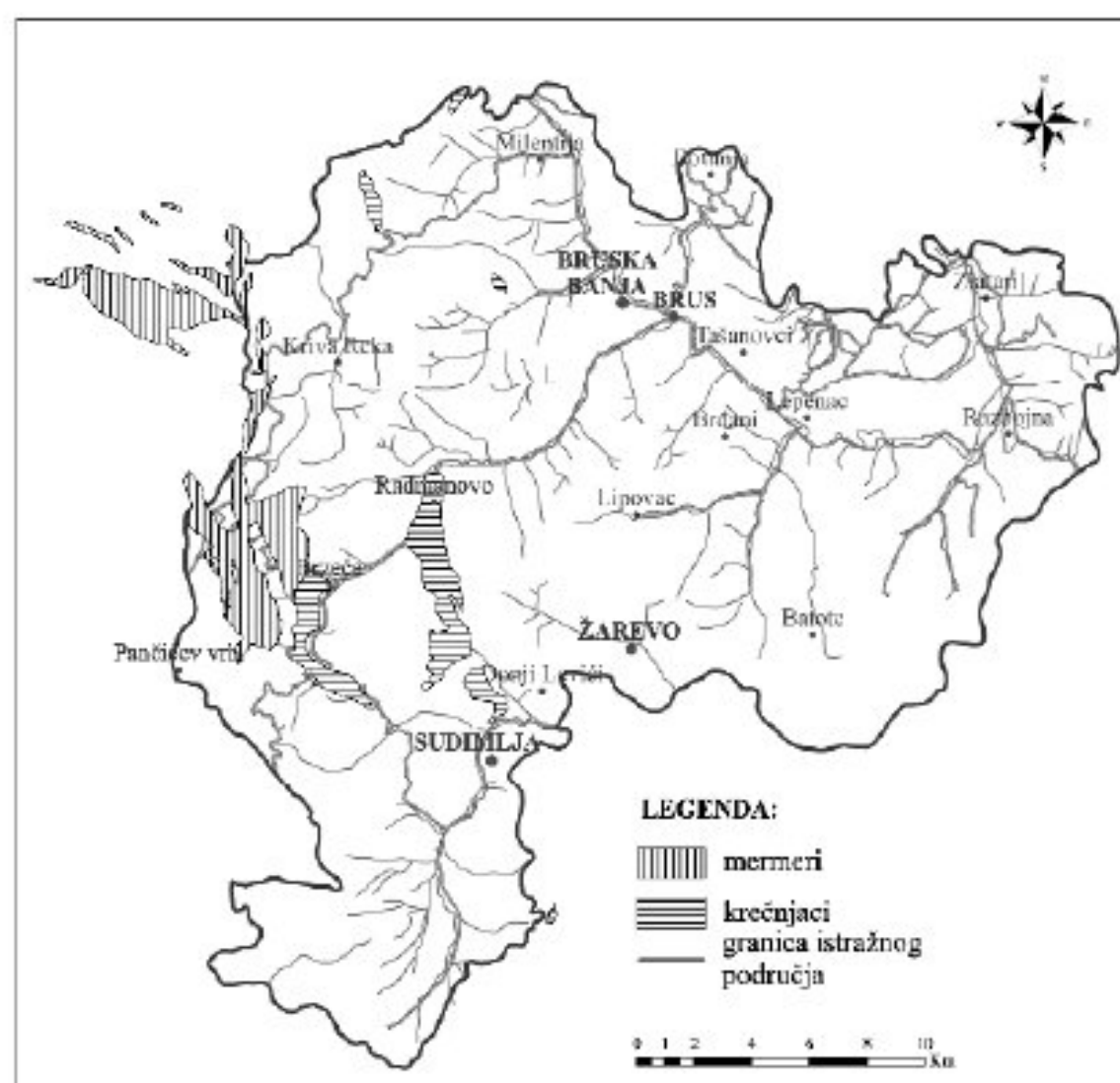
Fig. 1. Piper diagram of analyzed groundwater



Slika 2. Sadržaj stabilnih izotopa podzemnih voda iz bunara BR-1/83 (Modifikovano: Rozanski et al., 1992)

Figure 2. Analysis of stable isotopes in groundwater from well BR-1/83 (Modified: Rozanski et al., 1992)

Pretpostavljeni ulazak atmosferskih voda u geotermalni sistem je u zapadnom i jugozapadnom delu terena (slika 3), gde su konstatovane otvorene površine krečnjaka i mermera.



Slika 3. Površinsko razviće krečnjaka i mermera mezozojske starosti u odnosu na granice istražnog terena

Figure 3. Surface distribution of Mesozoic-age limestone and marble within the research area

Njihova ukupna površina iznosi oko 40 km². Poznavanjem stabilnih izotopa deuterijuma (-79,55‰) i kiseonika (-11,40‰) u podzemnim vodama Bruske banje, rekonstruisane su visinske zone ulaska padavina u sistem. Rekonstrukcija se bazira na činjenici da se sa promenom nadmorske visine menja i izotopski sastav padavina. Na većim visinama menja se koncentracija izotopa ²H i ¹⁸O i to ²H se menja od oko -1 ‰ do -4 ‰, a ¹⁸O se menja za oko -0.15 ‰ do -0.5 ‰ na 100 metara visine (Kendall et al, 1995). Primenujući taj model na istražni teren, vrednosti stabilnih izotopa upućuju da se infiltracija padavina odvija na oko 2000 m.n.v, što i odgovara najvišim, zapadnim delovima terena (slika 3).

Potencijalne zone prihranjivanja analizirane su i prema starosti podzemnih voda Bruske banje. Analiza ugljenika ¹⁴C na uzorku podzemnih voda iz bunara BR-1/83 pokazala je starost od 34.480 BP. Pri usvojenoj brzini kretanja kroz pukotinsku sredinu od 10⁻⁷ m/s, otkrivene površine mermera i krečnjaka se nalaze u odgovarajućem radijusu. Kretanje geotermalnih voda kontrolisano je 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 (CO₂) iz dubljih delova terena (preko 2 km). Gravitacioni rasedi kontrolišu i isticanje geotermalnih voda na površinu terena.

Poreklo toplotne energije u geotermalnom sistemu

Egzistencija geotermalnog sistema na području Brusa vezuje se za magmatske aktivnosti. Magma aktivnost posmatranog područja svrstana je u neaktivni ili ugašeni magmatizam koji koegzistuje sa skorašnjim magmatizmom. Na terenu su registrovane kisele magmatske stene, odnosno kiseli dubinski magmatiti. Izražene anomalije su u jugozapadnom delu terena, gde su i registrovane rasedne strukture duž kojih se odvijalo utiskivanje magmatita. Na terenu su i konstatovane lokalizovane zone hidrotermalno promenjenih stena koje se nalaze duž složene rasedne zone pada ka SSI pod uglom od 70°. U zoni je zapažena alteracija laporovitih stena u širini nekoliko metara, u kontinuitetu duž pružanja raseda (slika 4). Hidrotermalne alteracije kopaoničkog granitoida konstatovane su i bušenjem (400 m) u centralnom delu turističkog kompleksa. Duž celog profila nabušen je granodiorit, u smeni slabijih i jače ispucalih intervala sa kompaktnim. Hidrotermalno alterisana zona konstatovana je u intervalu 194.8-194.95 m (slika 5).



Slika 4. Rasedna zona duž koje su cirkulisali hidrotermalni fluidi (foto: Toljić, M)

Fig. 4. A fault zone through which hydrothermal fluids circulated (foto: Toljić, M)



Slika 5. Hidrotermalno alterisana zona u granodioritima Kopaonika (foto: Vranješ, A)

Fig. 5. Hydrothermally altered zone in the granodiorites of Kopaonik (foto: Vranješ, A)

Geofizički podaci ukazali su i na distribuciju neotkrivenog magmatskog tela, površine oko 50 km². Telo je izduženo po osi generalnog pravca S-J u dužini oko 12 km, dok procenjena širina tela iznosi oko 4 km. Telo je intrudovano paralelno pružanju suture i locirano je u području koje je bilo izloženo značajnoj ekstenziji. Gledano u odnosu na područje opštine Brus, telo je locirano u zapadnim delovima i distribucija je takva da se prostire od severa ka jugu. U ovakvim terenima izvor toplote predstavlja plutonit u kristalastoj podlozi koji sadrži radioaktivne elemente i/ili mlada magmatska intruzija koja još uvek nije ohlađena. Procenjena temperatura magmatskog tela na pretpostavljenoj dubini od 2.5-3 km je 100-120 °C. Vrednost temperature bazirana je na procenjenom stepenu hlađenja neogenih intruzija na području Srbije (Milivojević & Martinović, 2003) i na rekonstrukciji tektonsko-termalne evolucije granitoidne intruzije Kopaonika (Schefer et al., 2008; 2010).

Prognozne maksimalne temperature u rezervoaru

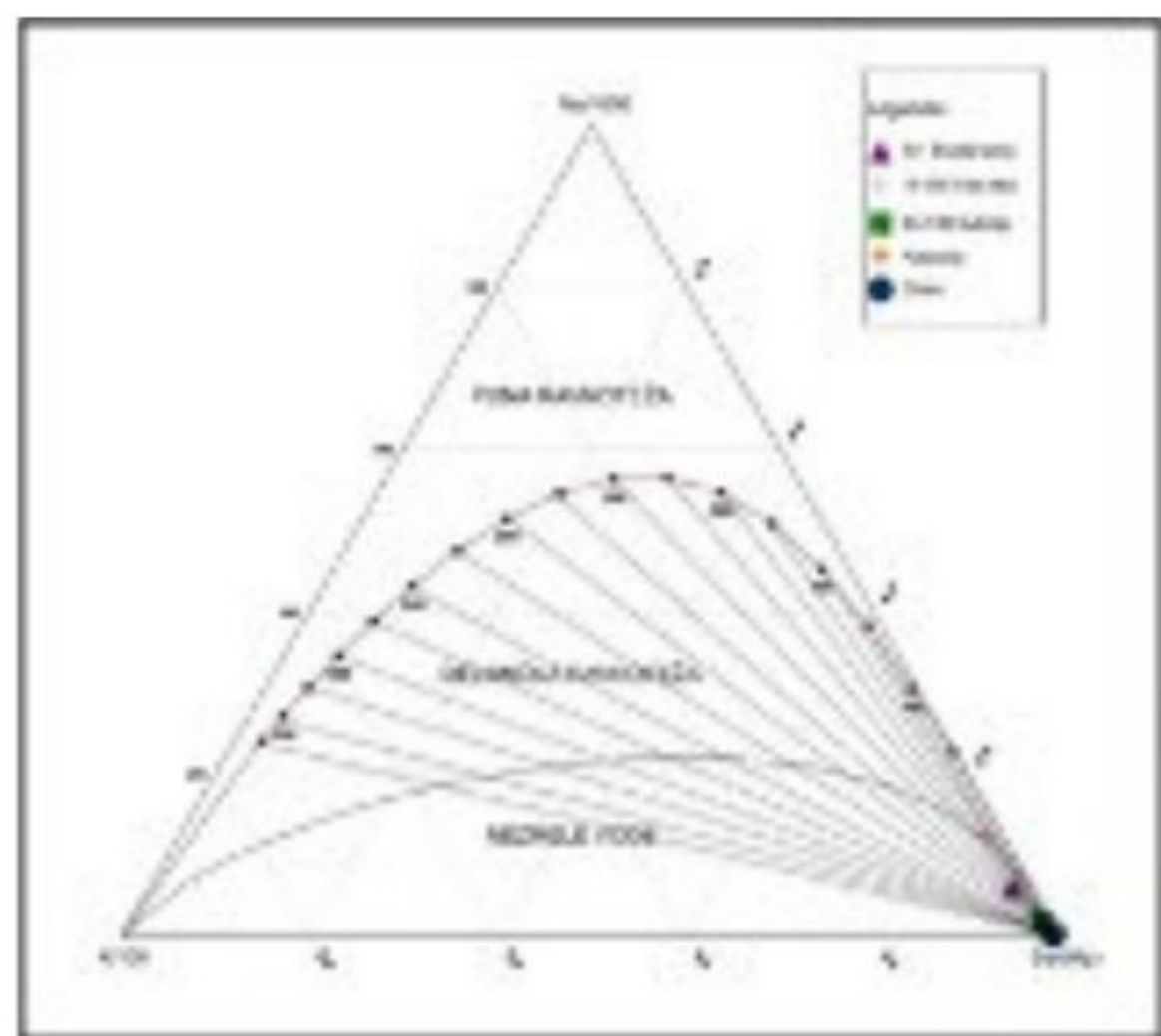
Prognozne maksimalne temperature geotermalnih voda u primarnom, krečnjačkom rezervoaru na lokalitetu Bruske banje kreću se u opsegu 70-80 °C. Nešto niže vrednosti dobijene su za područje Sudimlje i Žareva i kreću se u opsegu od 55-70 °C. Vrednosti su dobijene primenom kvarcnog SiO₂ geotermometra. Pored silicijumskog geotermometra analizirani su Na-K, K-Mg i Na-K-Mg geotermometar za definisanje hemijske ravnoteže u posmatranom sistemu. Ravnotežno stanje između vode i minerala sagledano je na osnovu trilinearnog dijagrama (slika 6). Odnos Na-K-Mg katjona analizirane uzorke podzemnih voda svrstava kategoriju *nezrelih voda*, te upućuje na aktivno rastvaranje stena pod dejstvom vode.

U proračunu Na/K geotermometar je dao najviše vrednosti kod svih analiziranih pojava, dok K/Mg najniže. Najveću pouzdanost primene Na/K je kod hloridnih voda sa neutralnom pH vrednošću, što nije slučaj ni sa jednim analiziranim uzorkom podzemnih voda. Geotermometar K/Mg ima ograničenije primene

kod geotermalnih fluida gde rastvoreni Na i Ca nisu u hemijskoj ravnoteži voda - stena. Stoga, dobijene vrednosti iz Na/K i K/Mg nisu dalje razmatrane.

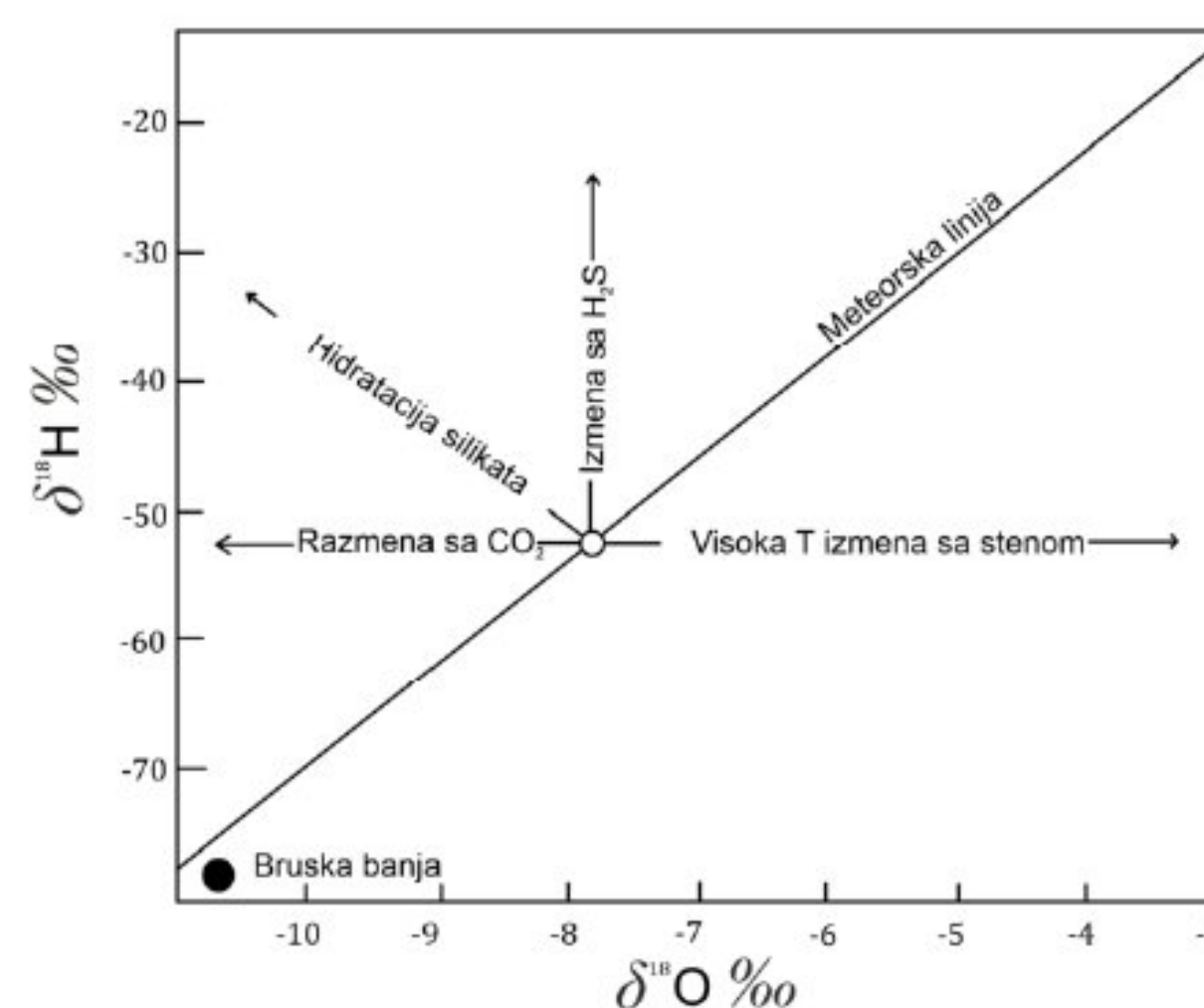
U analizi prognoznih temperatura u primarnom rezervoaru, korišćeni su i podaci stabilnih izotopa δD i $\delta^{18}O$, koji upućuju na činjenicu da se hemijski procesi u interakciji stena-voda odigravaju pod uticajem temperature (slika 7). Dijagram prikazuje neznatni otklon od meteorske linije u korist procesa koji se odigravaju pod uticajem temperature, te mala pomeranja u odnosu na referentnu liniju ukazuju na niske temperature u rezervoaru, nedovoljne da izazovu razmenu $\delta^{18}O$ između vode i stene. Mala pomeranja sadržaja $\delta^{18}O$ mogu da budu i posledica već dostignute hemijske ravnoteže u visokotemperaturnim sistemima, međutim, to nije slučaj sa vodama Bruske banje, obzirom da je prethodna analiza Na-K-Mg katjona svrstala termomineralne vode u kategoriju nezrelih voda (ravnotežno stanje voda-stena nije dostignuto).

Prognozne maksimalne temperature korelisane su sa vrednostima gustine terestičnog toplotnog toka (110 mW/m^2), zatim sa vrednošću geotermalnog gradijenta ($G_{sr} 4^\circ\text{C}/100 \text{ m}$) i vrednošću toplotne provodljivosti stena povlatnog izolatora (2.7 W/mK). Dobijene vrednosti prognoznih maksimalnih temperatura u krečnjačkom rezervoaru odgovaraju opsegu $70\text{-}80^\circ\text{C}$.



Slika 6. Trilinearni dijagram odnosa koncentracija Na-K-Mg u odabranim uzorcima podzemnih voda (modifikovano: Giggenbach 1988)

Figure 6. Trilinear diagram of Na-K-Mg concentration ratio in selected groundwater samples (modified: Giggenbach 1988)



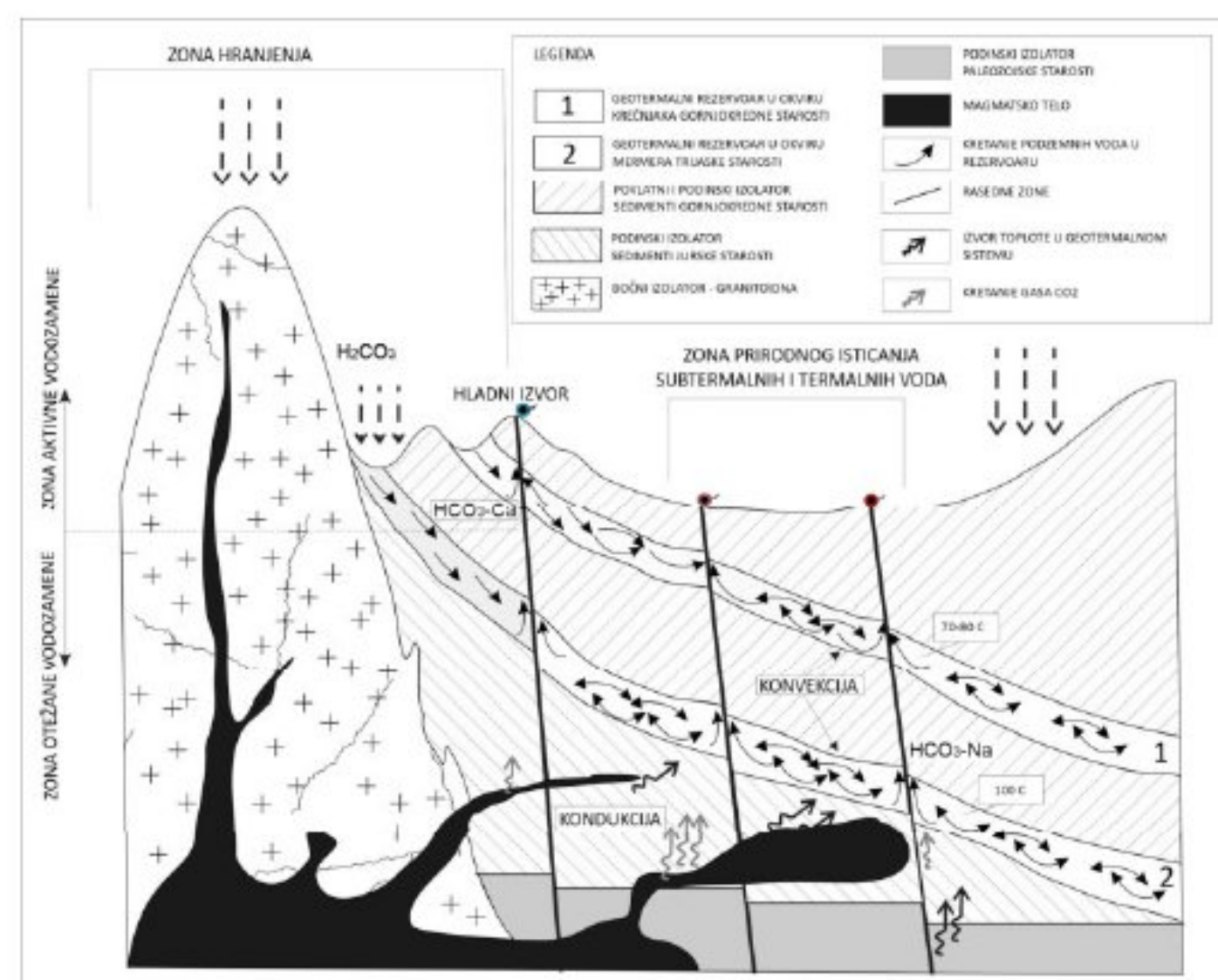
Slika 7. Proces interakcije voda-stena (modifikovano: D'Amore and Panichi, 1987)

Figure 7. The process of water-rock interaction (modified: D'Amore and Panichi, 1987)

ZAKLJUČAK

Rezultati primenjenih hidrohemijskih i izotopskih metoda podržali su postavku konceptijskog hidrogeotermalnog sistema Brusa (slika 8). Model je definisan kao hibridni hidrogeotermalni sistem, koga čine dva nezavisna hidrogeotermalna rezervoara formirana u gornjokrednim krečnjacima i trijaskim mermerima. Sistem ima elemente hidrogeotermalnog sistema u rov-strukturi, za koje su karakteristične debele flišne naslage (povlatni izolator) i elemente konvektivnog hidrogeotermalnog sistema sa rezervoarom u pokrivaču granitoidne intruzije. Geološko-geofizička istraživanja ukazala su na postojanje mlade magmatske intruzije koja još uvek nije ohlađena. Procenjena dubina na kojoj se nalazi magmatsko telo je oko $2.5\text{-}3 \text{ km}$. Procenjena temperatura neohlađenog magmatskog tela je $100\text{-}120^\circ\text{C}$.

U rezervoaru su formirani hidrogeotermalni resursi, atmosferskog porekla. Potencijalne zone prihranjivanja rezervoara fluidima konstatovane su u zapadnom delu terena. Kretanje geotermalnih voda kontrolisano je rasednim strukturama. Za predmetni teren karakteristični su graviracioni rasedi, koji predstavljaju aktivne zone duž kojih se kreću fluidi, uključujući i gasove (CO_2). Procenjene maksimalne temperature u prvom-krečnjačkom rezervoaru su u opsegu $70\text{-}80^\circ\text{C}$. Očekivana maksimalna temperatura hidrogeotermalnih resursa u mermerima je do 100°C .



Slika 8. Šema konceptualnog hidrogeotermalnog sistema šire okolne Brusa
Fig 8. Conceptual model of the hydrothermal system in the broader area of Brus

ZAHVALNOST

Istraživanja su realizovana u okviru naučne studije "Geotermalni i termomineralni potencijal hidrogeoloških resursa na teritoriji optine 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

- Arnórsson S. Chemical equilibria in icelandic geothermal systems-implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics*. 1983;12:119–28.
- Batard, F., Baubron, J.C., Bosch, B., Marcé, A., Risler, J.J., 1982: Isotopic identification of gases of a deep origin in French thermomineral waters, *Journal of Hydrology*, Vol. 56, 1–2, pp. 1–21, ISSN 0022-1694
- Bergfeld, D., Goff, F., Cathy J. Janik, J.C., 2001: Carbon isotope systematics and CO₂ sources in The Geysers-Clear Lake region, northern California, USA, *Geothermics*, Vol. 30, 2–3, pp. 303–331, ISSN 0375-6505
- D'Amore, F., Panichi, C., 1987. Geochemistry in geothermal exploration. *Appl. Geotherm.* 9, 69–89.
- D'Amore F., Scandiffio G. and Panichi C. (1983) - Some observations on the chemical classification of ground waters. *Geothermics*, 12, 141–148.
- Fournier RO (1977) Chemical geothermometers and mixing model for geothermal systems. *Geothermics*; 5: 41–50
- Fournier RO. A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geotherm Resour Council Trans.* 1979;3:221–4
- Giggenbach WF (1988) Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim Cosmochim Acta* 52(12):2749–2765.
- Milivojević, M., 1989: *Ocena geotermalnih resursa teritorije SR Srbije van teritorija SAP*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- Milivojević, M., Martinović, M., 2003: Granitoid Intrusion of Neogene Age in Serbia: Potential for HDR Systems. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol.27
- Kendall, C., Campbell, D.H., Burns, D.A., Shanley, J.B., Silva S.R. and Chang C.C.Y., 1995: Tracing sources of nitrate in snowmelt runoff using the oxygen and nitrogen isotopic compositions of nitrate. In *Biogeochemistry of Seasonally Snow-Covered Catchments*, eds. K. Tonnessen, M. Williams, and M. Tranter, pp. 339–347. Intern. Assoc. Hydrol. Sci., Boulder CO.
- Krstić, S., 1991a: *Elaborat o rezervama ugljikovisele termomineralne vode u nalazištu Sudimlja kod Blaževa SO Brus*, Geozavod, institut za geološka, hidrogeološka, geotehnička, geofizička istraživanja i istraživanja mineralnih sirovina, Beograd
- Schefer S., Egli D., Frank W., Fügenschuh B., Ovtcharova M., Schaltegger U., Schoene B. & Schmid S.M. 2008: Metamorphic and igneous evolution of the innermost Dinarides in Serbia. Abstract Volume 6th Swiss Geoscience Meeting, Lugano, 60–61.
- Schefer, S., Egli, D., Missoni, S., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Gawlick, H.J., Jovanović, D., Krystyn, L., Lein, R., Schmid, S.M. and Sudar, M. 2010. Triassic metasediments in the Internal Dinarides (Kopaonik area, southern Serbia): stratigraphy, paleogeographic and tectonic significance. *Geologica Carpathica*, 61, 2, 89–