

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XV SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK 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 - Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije, Beograd

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (15; 2016; Копаоник)
Zbornik radova / XV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Kopaonik 14-17. septembar 2016. godine. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2016 (Beograd : Grafolik).
- [22], 690 str. : ilustr.; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -
Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-316-3

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

NAUČNI ODBOR:

Predsjednik:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Članovi:

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

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.

HIDROHEMIJSKA KARAKTERIZACIJA MINERALNIH VODA SRBIJE PRIMENOM MULTIVARIJANTNE STATISTIČKE ANALIZE MULTIVARIATE STATISTICAL APPROACH TO HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF SERBIAN MINERAL WATERS

Jana Štrbački¹, Maja Todorović¹, Marina Ćuk¹, Jakov Andrijašević¹, Petar Papić¹

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

APSTRAKT: U ovom radu prikazan je novi pristup hidrohemijskoj karakterizaciji mineralnih voda Srbije, primenom multivarijantne statističke analize, tj. hijerarhijske klaster analize. Ova metoda ima za cilj grupisanje uzoraka u tzv. klasterne, na osnovu sličnosti u fizičko-hemijskim karakteristikama voda i to tako da su uzorci u okviru jednog klastera sličnih osobina, a da se razlikuju od uzoraka u drugim klasterima. Tokom terenskih istraživanja uzorkovane su 174 pojave podzemnih voda sa teritorije Srbije, sa izvora i iz bušenih i kopanih bunara. Temperatura, pH vrednost, specifična elektroprovodljivost i oksido-redukcioni potencijal (Eh) mereni su *in-situ*, dok su u laboratorijskim uslovima određivani: osnovni sastav (Ca, Mg, Na, Cl, HCO₃, SO₄), koncentracije mikroelemenata, ukupna α i β aktivnost i gamaspektometrija. Rezultati su pokazali velike varijacije u temperaturama, sadržaju rastvorenih mineralnih materija u vodama, njihovim pH i Eh vrednostima i sadržaju gasova, što ukazuje na različite hidrogeohemijske uslove formiranja ovih voda. Pomenuta varijabilnost fizičko-hemijskih karakteristika omogućila je primenu klaster analize i razvrstavanje mineralnih i termalnih voda u šest grupa. Posebno su analizirane hidrogeohemijske karakteristike svakog od izdvojenih šest klastera, a tom prilikom uzeti su u razmatranje: osnovni hidrohemijski parametri i sadržaj specifičnih elemenata u ispitivanim vodama, kao i litološke karakteristike izdani u kojima se ove vode javljaju.

Ključne reči: hidrohemija, mineralne i termalne vode, klaster analiza, Srbija

ABSTRACT: A new approach to hydrochemical characterization of mineral waters in Serbia was described in this paper. After field research and groundwater sampling, laboratory measurements were conducted. Trace and ultratrace elements in 174 mineral water samples were analyzed using HR ICP-MS and methods to determine gross alpha/beta activities and gamma-emitter radionuclide activity were applied. Hierarchical cluster analysis was used on 11 selected variables: major ions (Ca, Mg, Na, Cl, HCO₃, SO₄), Si, temperature, electrical conductivity, pH and Eh. Pronounced variability of physical and chemical characteristics of analyzed waters, as well as diverse water types, allowed extraction of six clusters. Hydrochemical parameters, geological characteristics and the contents of particular elements were considered in detail for each cluster. They differed in temperatures, dissolved mineral substances, pH, Eh values and gas content, which indicated different hydrogeological conditions. Variations in natural radioactivity, content of microelements and rare earth elements (REE) were also discussed.

Key words: hydrochemistry, mineral and thermal waters, cluster analysis, Serbia

UVOD

Mineralne vode su posebna kategorija podzemnih voda, koja se izdvaja povišenim sadržajem rastvorenih mineralnih supstanci (> 1 g/l) ili povišenim koncentracijama pojedinih mikroelemenata, rastvorenih gasova, radioaktivnih elemenata ili povišenom temperaturom. Genetski su najčešće vezane za specifične geološke i tektonske strukture (Dragišić & Polomčić 2009, Laboutka & Vylita 1983). Istraživanje sadržaja makro i mikroelemenata u mineralnim vodama izuzetno je korisno, kako sa teoretskog, tako i sa praktičnog aspekta (značaj za ljudsko zdravlje, mogućnost utvrđivanja geneze voda, mogućnost lociranja ležišta mineralnih sirovina itd.).

Na teritoriji Srbije otkriveno je i detaljno ispitano preko 230 mineralnih i termalnih izvora (Filipović 2003). Radi se o vodama koje se u najvećoj meri koriste u balneologiji, za rekreaciju i za flaširanje, a našle su primenu i

u poljoprivredi i industriji. U ovom istraživanju proučavan je veliki broj makro i mikroelemenata, kao i elemenata u tragovima, a ispitivana je i prirodna radioaktivnost mineralnih i termalnih voda. Cilj istraživanja bio je da se prikažu novi podaci koji se odnose na 174 pojave mineralnih i termalnih voda sa teritorije Srbije i da se iste klasifikuju na osnovu većeg broja hidrohemijskih kriterijuma, primenom multivarijantnih statističkih metoda.

METODOLOGIJA

U okviru ovog istraživanja prikupljeno je ukupno 174 uzorka mineralnih i termalnih voda, sa izvora i iz kopanih i bušenih bunara, u periodu 2012–2014. godine. Nestabilni fizičko-hemijski parametri (Eh, pH, specifična elektroprovodljivost i temperatura vode) mereni su *in situ*, pomoću paketa terenskih instrumenata (WTW pH 3110 SET 2; Electrode Sen Tix ORP 100 °C). Glavni kationi (Ca, K, Mg i Na) određivani su metodom ICP-OES, a glavni anjoni – metodom jonske hromatografije (Dionex ICS-3000 DC). Elementi u tragovima analizirani su primenom HR ICP-MS metode. Merenje ukupne alfa i beta aktivnosti vršeno je na niskofonskom $\alpha\beta$ -proporcionalnom gasnom brojaču (PIC-WPC-9550), dok su gamaspektrometrijska merenja vršena na HPGe detektorima.

S obzirom da je svaki uzorak okarakterisan velikim brojem fizičko-hemijskih parametara, primenjena je multivarijantna statistička analiza, u cilju sveobuhvatnijeg sagledavanja svih raspoloživih informacija. Hijerarhijska klaster analiza je multivarijantna statistička metoda, koja se u hidrogeohemiji koristi za grupisanje velikog broja ispitivanih uzoraka podzemnih voda, na osnovu sličnosti u fizičkim osobinama i hemijskom sastavu. Ono što je karakteristično za izdvojene grupe uzoraka (klaster) jeste da su uzorci u okviru jednog klastera međusobno slični, a da se razlikuju od uzoraka u drugim klasterima (Güler et al. 2002). Kao mera sličnosti prilikom klasifikovanja korišćeno je euklidsko rastojanje (*Euclidean distance*), a kao metoda povezivanja međusobno sličnih uzoraka u klaster korišćena je Vordova metoda (*Ward's method*). Glavni produkt klaster analize je dendrogram, čijom se vizuelnom inspekcijom vrši razvrstavanje uzoraka u klaster: svi uzorci čije je euklidsko rastojanje manje od tzv. granice grupisanja (*phenon line*) svrstavaju se u jedan klaster (Sneath & Sokal 1973). Pri tome se granica grupisanja bira tako da razlike u hidrohemijskim osobinama izdvojenih grupa budu što izraženije (Oyebog et al. 2012).

Sistematizacija raspoloživih hidrohemijskih podataka ukazala je na potrebu za uklanjanjem 14 uzoraka iz dalje statističke analize (usled nekompletnih hemijskih analiza ili vrednosti elektroneutralnosti veće od 5 %), što je rezultovalo konačnim skupom podataka od ukupno 160 uzoraka mineralnih voda. U klaster analizi korišćeni su sledeći joni: Ca, Mg, Na, Cl, HCO₃, SO₄ and Si, kao i temperatura, specifična elektroprovodljivost, pH i Eh, odnosno, ukupno 11 varijabli. Sprovođenju klaster analize prethodila je Boks-Koks transformacija (Box & Cox 1964, Sakia 1992) svih varijabli, čime je rešen problem odstupanja podataka od normalne raspodele. Takođe, primenjena je i standardizacija podataka – računanje tzv. standardnih vrednosti (z-vrednosti), čime se postiglo da sve varijable imaju jednaku težinu u daljoj statističkoj analizi (Güler et al. 2002).

Prilikom preliminarne obrade hidrohemijskih podataka korišćen je softver Geochemist's Workbench (GWB), a za statističku analizu – StatSoft STATISTICA 10.0.

REZULTATI I DISKUSIJA

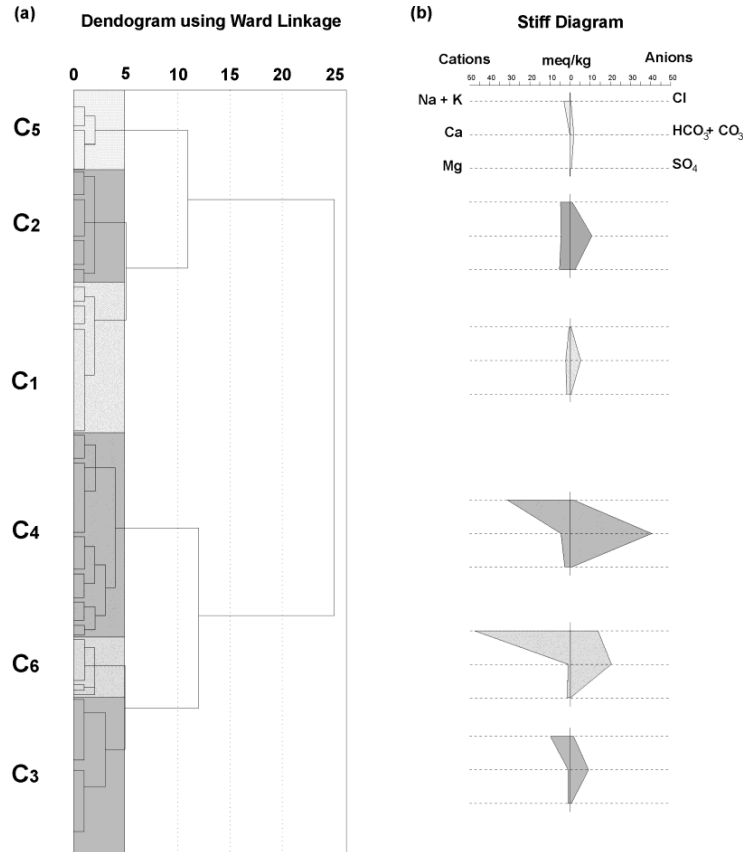
Fizičko-hemijske karakteristike analiziranih mineralnih i termalnih voda Srbije ukazuju na prisustvo različitih hidrohemijskih tipova voda. Temperature variraju između 8 i 106 °C, Eh se kreće u intervalu od -226 do 426,5 mV, dok su vrednosti specifične elektroprovodljivosti između 95 i 28.925 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Po pitanju pH vrednosti, vode su blago kisele do bazne (5,75–9,72). Dominiraju hidrokarbonatne vode (95 % ispitanih mineralnih voda), a u znatno manjoj meri prisutne su i hloridne (3,75 %) i sulfatne (1,25 %) mineralne vode.

Rezultati hijerarhijske klaster analize prikazani su na dendrogramu (Slika 1a), čijom je vizuelnom inspekcijom izvršeno razvrstavanje 160 uzoraka mineralnih voda u šest klastera (C1–C6). U cilju prikaza prosečnog makrokomponentnog sastava svakog od izdvojenih klastera, konstruisani su Štifevi dijagrami (Slika 1b), koji su jasno ukazali na sličnosti i razlike između klastera. U daljem tekstu opisane su hidrogeohemijske karakteristike svakog od šest klastera, sa posebnim osvrtom na sadržaje mikroelemenata, prirodnih radionuklida i elemenata retkih zemalja.

C1 – malomineralizovane vode- U ovaj klaster svrstane su malomineralizovane, hidrokarbonatno-kalcijumsko-magnezijumske vode, čije temperature variraju u opsegu 8–39 °C. Radi se o vodama koje karakteriše aktivna vodozamena (visoke Eh vrednosti) i kratko vreme zadržavanja u izdani (niske vrednosti specifične elektroprovodljivosti). U litologiji izdani preovlađuju karbonati i dolomiti, kao i mafične i ultramafične stene. Koncentracije mikroelemenata, prirodnih radionuklida i elemenata retkih zemalja, u uzorcima iz ovog klastera, uglavnom su male. Izuzetak predstavljaju povišeni sadržaji Cr, V i Sb, u vodama koje su u kontaktu sa gabrom, bazaltima i peridotitima.

C2 – hladne vode, sa povišenom mineralizacijom- Vode iz ovog klastera su hidrokarbonatne, mešovitog kationskog sastava i niskih temperatura. Preovlađuju oksidacioni uslovi. Izuzev nekoliko tipičnih ugljikiselih voda, poreklom iz granitnih i metamorfnihih stena, u ovom klasteru dominiraju vode bez ugljen-dioksida, sa povišenom mineralizacijom (oko 1 g/l). Naglašeni sadržaji magnezijuma, prisutni u nekoliko uzoraka, vezuju se za kontakt tih voda sa mafičnim i ultramafičnim stenama. Zbirno posmatrano, sadržaji mikroelemenata u klasteru C2 su slični ili neznatno povišeni u odnosu na C1, što je posledica prisustva nekoliko ugljikiselih voda u C2. Kod nekoliko pojava hladnih ugljikiselih voda ovog klastera registrovana je povišena β -radioaktivnost, dok je kod

pojave Cerska slatina izmerena visoka prirodna α -radioaktivnost. Koncentracije elemenata retkih zemalja su nešto više nego u klasteru C1, što može biti posledica razlika u litologiji i dužeg vremena zadržavanja vode u izdani.



Slika 1. (a) Dendrogram 160 uzoraka mineralnih voda Srbije, dobijen klaster analizom (mera sličnosti: euklidsko rastojanje, granica grupisanja: 5, metoda povezivanja: Vordova metoda). Legenda: C1–C6 – oznake izdvojenih klastera. **(b)** Štifovi dijagrami prosečnog makrokomponentnog sastava izdvojenih klastera. Legenda: sadržaji glavnih katjona i anjona dati su u mekv/kg.

Figure 1. (a) The dendrogram of 160 mineral water samples from Serbia, as a result of cluster analysis (with Euclidean distance, Ward linkage and phenon line at 5).

Legend: clusters labelled C1–C6. **(b)** The Stiff diagrams showing the average composition of each cluster. Legend: cations and anions in meq/kg.

C3 – termalne Na-HCO₃ vode- Visoke temperature i povišena specifična elektroprovodljivost, redukcioni uslovi i dominacija jona natrijuma predstavljaju glavne karakteristike uzoraka iz ovog klastera. Ovde su svrstane vode sa najvišim temperaturama u Srbiji (Vranjska banja: 106 °C, Lukovska banja: 54,7 °C, Novopazarska banja: 53,6 °C), genetski vezane za tercijarne vulkanske masive (Protić 1995). Klasteru C3 pripadaju i pojave termomineralnih voda sa teritorije Mačve (očekivane temperature od oko 100 °C; Martinović & Milivojević 2000), kao i termomineralne vode nekoliko manjih neogenih basena (povišene temperature i visoki sadržaji hlorida). Naglašeni su sadržaji Si, F, Li, B, As itd., u uzorcima koji se odlikuju visokim temperaturama. Vrednosti ukupne α i β aktivnosti su niske, u nekim slučajevima ispod nivoa detekcije, dok su koncentracije srednjih lantanida značajno povišene.

C4 – ugljikokisele mineralne vode- Najznačajnije osobine uzoraka voda svrstanih u klaster C4 jesu: prisustvo značajnih koncentracija rastvorenog CO₂, dominacija katjona Na i Ca, visoke vrednosti specifične elektroprovodljivosti i niske pH vrednosti. Izdani ovih voda vezuju se za rasprostranjenje magmatskih i metamornih kristalastih stena i za duboke regionalne rasede, uglavnom u okviru Vardarske zone. S obzirom da se radi o ugljikokiselim vodama, prisutni su povišeni sadržaji mnogih makro i mikroelemenata. U ovom klasteru zabeležene su maksimalne koncentracije sledećih elemenata: Si (58,27 mg/l), K (113 mg/l), Li (5,72 mg/l), Rb (0,97 mg/l), Cs (0,71 mg/l), Cu (0,41 mg/l) i Pb (0,013 mg/l), a registrovane su i visoke vrednosti ukupne α i β aktivnosti. Sadržaji ²²⁶Ra (do 0,91 ± 0,07 Bq/l) i ²²⁸Ra (do 0,76 ± 0,03 Bq/l), koji predstavljaju potomke radioaktivnog raspada ²²⁶U i ²³²Th, takođe su povišeni u odnosu na ostale klastera. Usled ograničenja analitičkih metoda za određivanje elemenata retkih zemalja, njihove koncentracije nije bilo moguće precizno izmeriti, ali se očekuje da su i one povišene.

C5 – malomineralizovane termalne alkalne vode- U ovaj klaster svrstane su natrijumsko-hidrokarbonatne vode, niske mineralizacije i visokih pH vrednosti (> 8). Za većinu uzoraka karakteristično je

naglašeno prisustvo F i H₂S, kao i povišene koncentracije As, Mo i W. Povećani sadržaji silicijuma javljaju se kao posledica pojačane rastvorljivosti silikatnih minerala u termalnim alkalnim vodama (Langmuir 1997). Pojava sa najvišom temperaturom svrstana u klaster C5 jeste Jošanička banja (78 °C). Svi uzorci voda iz ovog klastera odlikuju se niskom prirodnom radioaktivnošću i niskim sadržajima elemenata retkih zemalja.

C6 – termalne vode, sa povišenom mineralizacijom- Ovaj klaster čine zrele natrijumsko-hidrokarbonatno-hloridne vode, koje se odlikuju visokim temperaturama i visokom mineralizacijom (do 17.632 mg/l), a formirane su u Panonskom basenu. Radi se o alkalnim termalnim Na-HCO₃ i Na-Cl vodama, dubljih vodonosnih horizonata Panonskog basena. Maksimalne registrovane koncentracije jona natrijuma i hlorida iznose: 6.647 mg/l Na i 10.209 mg/l Cl. Dugo vreme zadržavanja vode u izdani, kao i redukcionim uslovi, omogućili su pojavu povišenih sadržaja B (do 35 mg/l), Ba (do 6 mg/l), Li (do 1,5 mg/l) i Sr (do 16 mg/l). Povišena β-radioaktivnost detektovana je u uzorcima sa najvišom mineralizacijom, dok je α-aktivnost niska, u nekim uzorcima i ispod nivoa detekcije. Od elemenata retkih zemalja, značajno su povišeni sadržaji srednjih lantanida i irijuma.

ZAKLJUČAK

Primena multivarijantne statističke analize omogućila je novu karakterizaciju mineralnih i termalnih voda Srbije, zasnovanu na njihovim hidrohemijским karakteristikama, kao i na geološkim karakteristikama izdani u kojima se nalaze. Hijerarhijska klaster analiza primenjena je na matricu sačinjenu od 160 uzoraka podzemnih voda i 11 fizičko-hemijских parametara, a kao rezultat dobijeno je šest klastera (C1–C6).

Kalcijumsko-magnezijumske malomineralizovane vode vezuju se za karbonate i dolomite, kao i za mafične i ultramafične stene. Termalne natrijumsko-hidrokarbonatne vode, sa niskim vrednostima specifične elektroprovodljivosti, karakteriše cirkulacija kroz vulkanite tercijarne starosti. Izdani na većim dubinama, formirane u Panonskom basenu i u manjim neogenim basenima, odlikuju se redukcionim uslovima i za njih su karakteristične Na-HCO₃ i Na-Cl vode. U intenzivno izrasedanim delovima Vardarske zone, sačinjenim od granitoidnih stena, javljaju se ugljikisele vode, povišene mineralizacije, natrijumsko-hidrokarbonatnog tipa.

Maksimalne koncentracije pojedinih mikroelemenata (B, K, Li, Sr i Ba) tipične su za mineralne vode dubljih horizonata Panonskog basena, sa dugim vremenom zadržavanja podzemnih voda i redukcionim uslovima. Povišeni sadržaji mikroelemenata karakteristični su i za mineralizovane ugljikisele vode. Asocijacije mikroelemenata ukazuju na interakciju sa lokalnom litologijom: As, Mo i W vezuju se za izdani u vulkanskim stenama, dok su Cr, V i Sb tipični za cirkulaciju vode kroz mafične i ultramafične stene.

Povišene vrednosti α i β aktivnosti vezuju se za mineralne vode magmatskih i metamorfni stena. Prirodna radioaktivnost uglavnom je posledica visokih sadržaja ⁴⁰K. Najznačajnije koncentracije elemenata retkih zemalja detektovane su u vodama koje cirkulišu kroz intermedijarne i kisele magmatske stene, tercijarne starosti, a očekuju se i povišeni sadržaji u ugljikiselim vodama.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje sprovedeno je zahvaljujući finansijskoj podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, kroz Projekat III 43004.

LITERATURA

- BOX G.E.P. & COX D.R., 1964: *An analysis of transformations*, Journal of the Royal Statistical Society B, 26, 211-234
- DRAGIŠIĆ V. & POLOMČIĆ D., 2009: *Hidrogeološki rečnik*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- GÜLER C., THYNE G.D., MCCRAY J.E. & TURNER A.K., 2002: *Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data*, Hydrogeology Journal, 10, 455-474
- LABOUTKA M. & VYLITA B., 1983: *Mineral and thermal waters of Western Bohemia*, GeoJournal, 7 (5), 403-411
- LANGMUIR D., 1997: *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice Hall, New Jersey
- MARTINOVIĆ M. & MILIVOJEVIĆ M., 2000: *The hydrogeothermal model of Mačva*, Proceedings of World Geothermal Congress, Kyushu-Tokou, May 28 – June 10
- OYEBOG S.A., AKO A.A., NKENG G.E. & SUH E.C., 2012: *Hydrogeochemical characteristics of some Cameroon bottled waters*, investigated by multivariate statistical analyses, Journal of Geochemical Exploration, 112, 118-130
- PROTIĆ D., 1995: *Mineralne i termalne vode Srbije*, Geoinstitut, Beograd
- SAKIA R.M., 1992: *The Box-Cox transformation technique: A review*, The statistician, 41, 169-178
- SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R., 1973: *Numerical taxonomy – the principles and practice of numerical classification*, Freeman W.H., San Francisco