

Makro- i mikroelementi u flaširanim vodama i vodama iz javnih vodovoda u Srbiji

Tanja M. Petrović¹, Milena Zlokolica Mandić¹, Nebojša Veljković², Petar J. Papić³, Maja M. Poznanović¹, Jana S. Stojković³, Sava M. Magazinović³

¹Geološki institut Srbije, Beograd, Srbija

²Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija

³Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Izvod

Ovaj rad predstavlja uporednu analizu kvaliteta flaširanih voda i voda iz javnih sistema vodosnabdevanja u Srbiji i poređenje sa važećim pravilnikom Republike Srbije, Direktivama EU i preporukama Svetske zdravstvene organizacije (SZO). U laboratoriji BGR u Berlinu analizirano je 13 flaširanih voda i 14 voda iz javnih vodovodskih sistema sa teritorije Srbije. Analizirane flaširane vode su uglavnom malomineralne ($M < 500$ mg/l) sa dominantnim sadržajem HCO_3^- i Ca^{2+} i Mg^{2+} ili mineralne ($M > 500$ mg/l) sa dominantnim sadržajem HCO_3^- i Na^+ . U mineralnim flaširanim vodama javljaju se povišeni sadržaji Cs, Li, Ge, Rb i F kao posledica uticaja magmatskih stena. U pojedinim vodama uočen je povišen sadržaj B, I, NH_4^+ , Tl i W kao posledica cirkulacije vode kroz litološke komplekse. Za vodosnabdevanje uglavnom se koriste podzemne vode, mada se zahvataju vode i iz rečnih tokova i površinskih akumulacija. Vode iz javnih sistema uže Srbije su sa dominantnim sadržajem HCO_3^- i Ca^{2+} i Mg^{2+} , dok su na području Vojvodine sa dominantnim sadržajem HCO_3^- i Na^+ . Osim povišene mineralizacije, vode u Vojvodini imaju povišen sadržaj As i B.

Ključne reči: flaširana voda, voda sa javnog sistema vodosnabdevanja, mikroelementi, klasifikacija voda.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Na području Srbije postoji oko 30 fabrika/punionica podzemnih voda, iako je potencijal proizvodnje flaširanih voda daleko veći. Postojeće punionice su u 2010. godini isporučile tržištu oko 635 mil. litara vode. Poredeći sa proizvodnjom u 2000. (330.3 mil. litara) i 2005. godini (539 mil. litara) [1], uočen je porast konzumiranja ovih voda. Osnovni razlog za to je naglašen marketing, kao i problematičan kvalitet pojedinih voda za piće iz javnih sistema (npr. u pokrajini Vojvodini, gradovima Kraljevo, Požarevac, itd.). Potrošnja flaširanih voda u Srbiji iznosi oko 75 litara po stanovniku godišnje. U odnosu na ukupno zahvaćenu količinu podzemnih voda (oko 600 mil. m^3/god), eksploatacija mineralnih voda za flaširanje iznosi manje od 0,1%. U strukturi prodaje prirodne mineralne vode u 2009. godini, gazirana voda, odnosno voda koja sadrži CO_2 (>250 mg/l) dominira sa udelom od 72% u odnosu na negaziranu vodu [2]. Na području Srbije podzemne vode se zahvataju iz različitih kompleksa stena, i bitno se razlikuju po količini i kvalitetu. Cilj rada je analiza uticaja geologije na hemijski sastav vode, a potom i uporedna analiza flaširanih voda i voda iz javnih vodovodskih sistema i usklađenost sa važećim pravilnicima.

Prepiska: T. Petrović, Geološki institut Srbije, Rovinjska 12, 11000 Beograd, Srbija.

E-pošta: tanjapetrovic.hg@gmail.com

Rad primljen: 29. jul, 2011

Rad prihvaćen: 15. septembar, 2011

NAUČNI RAD

UDK 628.161.1:543.2(497.11)

Hem. Ind. 66 (1) 107–122 (2012)

doi: 10.2298/HEMIND110729062P

Osim za flaširanje, podzemne vode obezbeđuju 70% potrebe za vodom domaćinstava i industrije u Republici Srbiji, a na području Autonomne pokrajine Vojvodine ovo je isključivi način vodosnabdevanja. Prema raspoloživim statističkim podacima o eksploataciji podzemnih voda za potrebe javnog vodosnabdevanja (486.862 mil. m^3 u 2009. godini [3]) i proceni količina koje se eksploatišu kod individualnog vodosnabdevanja seoskog stanovništva, danas se u Republici Srbiji zahvata ukupno oko 600 mil. m^3 podzemne vode. Ukupni kapaciteti postojećih izvorišta podzemnih voda u Republici Srbiji iznose oko 670 mil. m^3/god godišnje, a ocenjene potencijalne količine podzemnih voda do 2021. godine iznose 1.948 mil. m^3/god godišnje [4]. U odnosu na postojeće ukupne kapacitete podzemnih voda danas se zahvata 90% eksploatabilnih mogućnosti postojećih izvorišta, dok je ovaj procenat 31% u odnosu na ocenjene potencijalne količine podzemnih voda. Resursi podzemnih voda biće preovlađujući tip izvora za vodosnabdevanje stanovništva i industrije u Republici Srbiji u narednom periodu, a njihov kvalitet je veoma neujednačen i varira od voda visokog kvaliteta do onih koje je neophodno preraditi do nivoa kvaliteta vode za piće.

Zakonska regulativa

U Srbiji su na snazi dva pravilnika koja se odnose na vodu namenjenu ljudskoj upotrebi (tabela 1). To su Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ

Tabela 1. Poređenje Pravilnika Republike Srbije sa Direktivama Evropske unije i standardom SZO
 Table 1. Comparison of Regulations of Republic of Serbia with the EU Directives and WHO Standard

| Para- metar | Jedi- nica | Merene kon- centracije u uzorcima fla- širane vode | | Merene kon- centracije u uzorcima vode iz javnih sistema | | Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99) | | Pravilnik o kvalitetu i dr., zahte- vima za prirodnu mineralnu, izvorsku i stonu vodu (Sl. list SCG br. 53/05) | EU Directive | | | WHO |
|-------------------------------|---------------|---|---------|---|--------|--|---|---|---------------------------------|--------------------------------|---|------|
| | | Min | Maks. | Min | Maks. | MDK za parametre u vodi za vodosnab- devanje | MDK za pa- rametere u oligomine- ralnoj fla- širanoj vodi | | 1998/83/EC drinking water | 2003/40/EC mineral water | 2009/54/EC natural mineral water | |
| pH | | 5,6 | 7,5 | 7,18 | 7,7 | 6,8–8,5 | 6,8–8,5 | – | ≥6,5–≤9,5 | – | – | – |
| EC na 20 °C | μS/cm | 340 | 4560 | 117 | 928 | <1000 | <500 | 2500 | 2500 p.v. | – | – | – |
| Ag | μg/l | <0,001 | 0,00357 | <0,001 | <0,001 | – | 10 | – | – | – | – | – |
| Al | μg/l | <0,001 | 8,38 | <0,3 | 30,8 | 200 | 50 | 200 | 200 p.v. | – | – | 200 |
| As | μg/l | 0,085 | 6,26 | 0,114 | 71,9 | 10 | 50 | 10 | 10 | 10 | – | 10 |
| B | μg/l | 22,3 | 5660 | 6,46 | 1170 | 300 | 1000 | 1000 | 1000 | – | – | 500 |
| Ba | mg/l | <0,01 | 0,607 | 0,005 | 0,0946 | 0,7 | 0,1 | – | – | 1 | – | 0,7 |
| Be | μg/l | <0,001 | 0,512 | <0,001 | 0,0056 | – | 0,2 | – | – | – | – | – |
| Br | μg/l | – | – | <0,003 | 0,11 | – | – | – | – | – | – | – |
| Ca | mg/l | 22,2 | 241 | 112 | 18,1 | 200 | 100 | 150 | – | – | <150 | – |
| Cd | μg/l | <0,001 | 0,00589 | 0,0069 | 0,116 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | – | – |
| Cl | mg/l | 1,35 | 287 | 0,95 | 26,5 | 200 | 25 | 250 | 250 p.v. | – | <200 | 300 |
| CN ⁻ | μg/l | – | – | – | – | 50 | – | 50–70 | 50 | 70 | – | – |
| Cr | μg/l | 0,09 | 2,4 | <0,03 | 4,4 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | – | 50 |
| Cs | μg/l | 0,0425 | 84,7 | <0,001 | 0,412 | – | – | – | – | – | – | – |
| Cu | μg/l | 0,113 | 2,48 | 16,8 | 0,13 | 2000 | 100 | 2000 | 2000 | 1000 | – | 2000 |
| F | mg/l | <0,002 | 2,39 | 0,016 | 0,358 | 1,2 | 1 | 1,5 | 1,5 | 5 (1,5: label) | <1 | 1,5 |
| Fe | μg/l | 0,13 | 101 | 0,003 | 87,5 | 300 | 50 | 200 | 200 p.v. | – | – | 300 |
| Fe ²⁺ | mg/l | – | – | – | – | – | – | 1 | – | – | >1 | – |
| Ge | μg/l | 0,0053 | 17,8 | 0,248 | 0,005 | – | – | – | – | – | – | – |
| HCO ₃ ⁻ | mg/l | 200 | 3290 | 49,2 | 846 | – | – | 600 | – | – | <600 | – |
| Hg | μg/l | <5 | <5 | <5 | <5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | 6 |
| I | μg/l | 1,68 | 686 | 1,25 | 36,2 | – | – | – | – | – | – | – |
| K | mg/l | 0,8 | 52 | 0,2 | 3 | 12 | 10 | – | – | – | – | – |
| Li | μg/l | 0,762 | 985 | 0,501 | 16,4 | – | – | – | – | – | – | – |
| Mg | mg/l | 12,08 | 324 | 2,65 | 40,9 | 50 | 30 | 50 | – | – | <50 | 50 |
| Mn | μg/l | <1 | 465 | <0,1 | 59,4 | 50 | 20 | 50 | 50 p.v. | 500 | – | 400 |
| Mo | μg/l | 0,131 | 0,537 | 0,045 | 1,12 | 70 | – | – | – | – | – | 70 |
| Na | mg/l | 1,8 | 1216 | 0,9 | 275 | 150 | 20 | 200 | 200 p.v. | – | <200 | 200 |
| NH ₄ ⁺ | mg/l | <0,005 | 4,4 | <0,005 | 0,502 | – | – | 0,5 | 0,5 p.v. | – | – | – |
| Ni | μg/l | 0,0246 | 9,12 | 0,0549 | 9,14 | 20 | 10 | 20 | 20 p.v. | 20 | – | 70 |
| NO ₂ ⁻ | mg/l | <0,005 | 0,144 | <0,005 | 0,026 | 0,03 | – | 0,1 | 0,5 p.v. | 0,1 | – | 3 |
| NO ₃ ⁻ | mg/l | <0,01 | 9,25 | <0,01 | 15,8 | 50 | 5 | 50 | 50 p.v. | 50 | – | 50 |
| Pb | μg/l | 0,0030 | 0,0855 | 0,0129 | 0,408 | 10 | – | 10 | 10 | 10 | – | 10 |
| Rb | μg/l | 0,388 | 205 | 0,055 | 1,12 | – | – | – | – | – | – | – |
| Si | mg/l | 2,24 | 41,5 | 1,92 | 12,4 | – | – | – | – | – | – | – |
| Sb | μg/l | 0,161 | 2,93 | 0,035 | 0,389 | 3 | 10 | 5 | 5 | 5 | – | 20 |
| Sc | μg/l | 0,0194 | 0,348 | 0,0167 | 0,138 | – | – | – | – | – | – | – |
| Se | μg/l | <0,01 | 0,149 | <0,01 | 0,747 | – | 10 | 10 | 10 | – | – | 10 |
| SO ₄ | mg/l | 0,02 | 173 | 0,08 | 149 | – | 25 | 250 | 250 p.v. | – | <200 | 250 |

Tabela 1. Nastavak
Table 1. Continued

| Para- metar | Jedi- nica | Merene kon- centracije u uzorcima fla- širane vode | | Merene kon- centracije u uzorcima vode iz javnih sistema | | Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99) | | Pravilnik o kvalitetu i dr., zahte- vima za prirodnu mineralnu, izvorsku i stonu vodu (Sl. list SCG br. 53/05) | EU Directive | | | WHO |
|----------------|---------------|---|-------|---|--------|--|--|---|---------------------------------|--------------------------------|---|------|
| | | Min | Maks. | Min | Maks. | MDK za parametre u vodi za vodosnab- devanje | MDK za pa- rametre u oligomine- ralnoj fla- širanoj vodi | | 1998/83/EC drinking water | 2003/40/EC mineral water | 2009/54/EC natural mineral water | |
| Sr | mg/l | 0,05 | 1,49 | 0,058 | 0,525 | – | – | – | – | – | – | – |
| Tl | µg/l | 0,0044 | 1,11 | <0,0005 | 0,0022 | – | – | – | – | – | – | – |
| U | µg/l | 0,0017 | 1,83 | 0,00218 | 3 | – | 50 | – | – | – | – | 15 |
| V | µg/l | 0,037 | 4,45 | 0,0525 | 0,725 | – | 1 | – | – | – | – | – |
| W | µg/l | 0,0182 | 11 | 0,004 | 0,877 | – | – | – | – | – | – | – |
| Zn | µg/l | 0,0609 | 3,27 | 2,16 | 117 | 3000 | 100 | – | – | – | – | 3000 |

br. 42/98 i 44/99) [5] i Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu (Sl. list SCG br. 53/05) [6].

U Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće [5], pod flaširanim vodama podrazumevaju se oligomineralne vode sa elektroprovodljivošću $Ep < 500 \mu S/cm$, dok se u radu pod flaširanim vodama podrazumevaju i oligomineralne i mineralne vode koje se pakuju u plastičnu, staklenu ili drugu ambalažu i nalaze se u slobodnoj prodaji.

Poređenjem direktiva EU [7–9] i standarda SZO [10] sa Pravilnicima koji važe u Srbiji [5,6] dolazi se do ključka o neusklađenosti sa propisanim MDK za niz parametara. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće [5], osim kvaliteta vode za javno vodosnabdevanje definiše maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) „flaširane vode“, koja je definisana niskim sadržajem: Al, Ba, Ca, Cl, CN, Cu, F, Fe, Hg, Ng, Mn, Na, Ni, NO₂, NO₃, SO₄ i Zn, a Ep je manja od $500 \mu S/cm$. Sa izuzetkom As, B i U, on propisuje niže koncentracije od onih koje je donela Svetska zdravstvena organizacija (SZO).

Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu [6] definiše MDK parametre koji mogu predstavljati rizik po ljudsko zdravlje, indikatorske parametre kvaliteta i nomenklaturu mineralnih voda. Ukoliko voda sadrži veću koncentraciju od vrednosti u tabeli 1, u nazivu proizvoda (na etiketi) mora pisati: „bikarbonatna“ (za $HCO_3^- > 600 \text{ mg/l}$), „magnezijumova“ (za $Mg^{2+} > 50 \text{ mg/l}$), „kalcijumova“ (za $Ca^{2+} > 150 \text{ mg/l}$), „natrijumova“ ($Na^+ > 200 \text{ mg/l}$), itd. Vrednosti za F ($1,5 \text{ mg/l}$), Cl^- (250 mg/l), CN^- ($70 \mu g/l$) i SO_4^{2-} (250 mg/l) ne smeju biti prekoračene. Ovaj pravilnik se odnosi na sve podzemne vode, bez obzira na ukupnu mineralizaciju. On, takođe, definiše ograničeni broj dozvoljenih postupaka i tretmana vode na izvoru koji obuhvataju izdvajanje nesta-

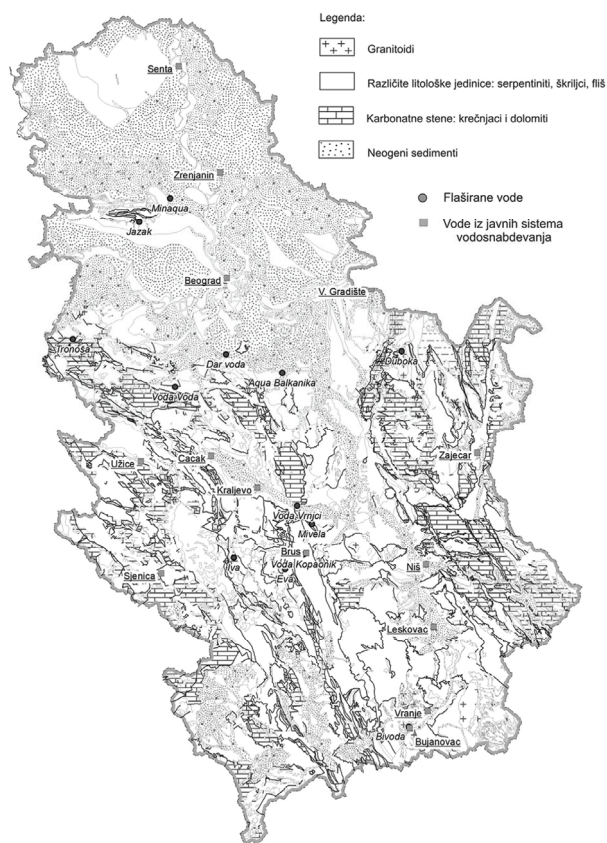
bilnih elemenata i jedinjenja (gvožđa, mangana, sumpora i arsena) postupcima oksidacije, filtriranja i dekantovanja, sve dok takav postupak ne menja sastav vode u pogledu osnovnih sastojaka i pod uslovom da je takav postupak prijavljen i posebno kontrolisan od strane nadležnih organa i ovlašćene institucije. Dozvoljeni su i postupci degazacije i gaziranja isključivo fizičkim metodama.

U pravilnicima Republike Srbije [5,6] dozvoljene su dvostruko veće količine B u vodama nego prema standardu SZO [10]. Nitriti su dozvoljeni znatno manje [5], pri čemu se voda smatra ispravnom za piće ako je odnos $[NO_3^-]/50 + [NO_2^-]/30 \leq 1$. Direktiva 98/83/EP [7] propisuje sličan odnos između NO_3^- i NO_2^- , sa značajnom razlikom u deljenom broju $NO_3^- [NO_3^-]/50 + [NO_2^-]/3 \leq 1$!

Velika razlika u standardima ogleda se u sadržaju Zn. Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće [5] u vodi za vodosnabdevanje dozvoljeno je $3000 \mu g/l$ (kao i prema SZO), dok je u oligomineralnoj flaširanoj vodi dozvoljeno samo $100 \mu g/l$, što je ujedno i najniža dozvoljena koncentracija Zn prema svim pravilnicima u Evropi.

UZORKOVANJE I ANALITIČKE METODE

Za potrebe izrade Geohemijskog atlasa Evrope, uzorci flaširanih voda su analizirani u laboratoriji *Federal Institute for Geosciences and Natural Resources* (BGR) u Berlinu. Ove analize su obuhvatile pH, Ep , alkalitet i koncentracije 69 elemenata. Makrokomponente su određene metodom ICP-AES, mikrokomponente i elementi u tragovima metodom ICP-QMS, anjoni jonskom hromatografijom, alkalnost titracijom, amonijum jon fotometrijskom metodom [11]. Radi postizanja ravnomerne regionalne zastupljenosti, uzorci su uzeti sa 13 lokaliteta (za flaširane vode) i 14 lokaliteta za vode iz javnog sistema vodosnabdevanja (slika 1).



Slika 1. Šematizovana geološka karta Srbije sa prikazom lokacija flaširanih voda i voda iz javnih sistema vodosnabdevanja.

Figure 1. Sheme geological map of Serbia with bottle water and tap water sites shown.

REZULTATI I DISKUSIJA

Flaširana voda

Za svaki uzorak flaširane vode, urađena je analiza na 72 parametra. Rezultati analiza prikazani su u tabeli 2. (pH, E_p , mineralizacija i makrokomponente), dok su vrednosti pojedinih mikrokomponentata prikazane u tabeli 3. Hidrogeološki uslovi formiranja ovih voda detaljnije su opisani u prethodnom radu [12].

pH vrednost analiziranih voda je u opsegu 5,6–7,8. Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće [6] pH vrednost bi trebala da bude 6,8–8,5, dok za vodu koja je bogata CO_2 vrednost pH može biti i <6,8 (Dar voda, Minaqua, Voda Vrnjci, Mivela i Bivoda). Tako na tržištu imamo brojne vode koje se flaširaju kao gazirane i negazirane. Medijana pH vrednosti za flaširane vode ukazuje da se u Evropi flaširaju kiselijske vode, odnosno vode sa nižom pH vrednošću.

Vrednost elektroprovodljivosti, E_p , u vodama je od 340 do 4560 $\mu S/cm$, dok je po Pravilniku o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu [6] preporučena vrednost do 2500 $\mu S/cm$, kao i na osnovu direktive EU za pijaće vode [7]. Prema Direktivi EU za mineralne [8] i prirodne mineralne vode [9] vrednost elektroprovodljivosti nije limitirana.

Vrednost E_p zavisi od sadržaja i oblika rastvorenih materija u njoj. Poredeći vrednosti medijane E_p za flaširane vode Srbije (990 $\mu S/cm$) i flaširane vode Evrope (668 $\mu S/cm$), očigledno je da se u Srbiji flaširaju vode bogatije rastvorenim materijama. Na osnovu podataka

Tabela 2. Rezultati analiza flaširanih voda Srbije (pH, EC, M i makrokomponente)

Table 2. Results of analyzed bottle water of Serbia (pH, EC, TDS and main components)

| Uzorak flaširane vode | pH | E_p $\mu S/cm$ | Sadržaj, mg/l | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|---------------|--------|------|------|------|------|------|--------|---------|
| | | | M^a | M^b | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO_4 | HCO_3 |
| Voda Kopaonik | 7,5 | 1700 | 1115,5 | 1105 | 28,3 | 12,8 | 409 | 7,4 | 18,9 | 0,32 | 1183 |
| Aqua Balkanika | 7,6 | 672 | 394,8 | 436,8 | 78,5 | 28,3 | 33,9 | 2,1 | 5,2 | 18 | 440 |
| Eva | 7,8 | 340 | 202,6 | 221 | 47,8 | 15,2 | 3,1 | 1 | 1,8 | 15,8 | 200 |
| Dar voda | 5,6 | 990 | 637,5 | 643,5 | 90,6 | 22,6 | 92,4 | 17,2 | 28,4 | 80,5 | 521 |
| Minaqua | 5,75 | 1974 | 1181,7 | 1283,1 | 22,2 | 19,9 | 412 | 3,6 | 287 | 0,35 | 768 |
| Jazak | 7,5 | 690 | 410,6 | 448,5 | 77 | 45,6 | 6,9 | 3,5 | 5,5 | 29,5 | 427 |
| Duboka | 6,9 | 1365 | 864,9 | 887,25 | 241 | 19,7 | 55 | 5,1 | 15,4 | 9,61 | 956 |
| Voda Voda | 7,5 | 623 | 384,9 | 404,95 | 78,3 | 14,8 | 41,5 | 3,1 | 7,5 | 13 | 392 |
| Voda Vrnjci | 6,4 | 1696 | 1174,8 | 1102,4 | 76,3 | 55,4 | 241 | 35,1 | 15,5 | 29,1 | 1177 |
| Mivela | 6,3 | 2510 | 1620,3 | 1631,5 | 26,3 | 324 | 120 | 8,4 | 12,8 | 0,02 | 2047 |
| Iva | 7,3 | 423 | 260,5 | 274,95 | 58,7 | 20,7 | 3,4 | 0,8 | 1,97 | 7,26 | 275 |
| Bivoda | 6,5 | 4560 | 3400,8 | 2964 | 85,4 | 20,6 | 1216 | 52 | 54,1 | 173 | 3290 |
| Tronoša | 7,45 | 630 | 364,6 | 409,5 | 83 | 38,7 | 1,8 | 0,6 | 1,35 | 22,2 | 401 |
| Medijana za vode Srbije (N = 13) | 7,3 | 990 | 637,5 | 643,5 | 77 | 20,7 | 55 | 3,6 | 12,8 | 15,8 | 521 |
| Medijana za vode Evrope ^c (N = 1785) | 5,6 | 668 | – | 434 | 76,3 | 18,9 | 17,8 | 2,5 | 18,6 | 30,2 | 305 |

^a Makrokomponente + mikroelementi + elementi u tragovima; ^b 0,65 E_p [50]; ^c ref. [13]

Tabela 3. Rezultati analiza flaširanih voda Srbije (mikrokomponente)
Table 3. Results of analyzed bottle water of Serbia (microelements and trace elements)

| Uzorak flaširane vode | Al µg/l | As µg/l | B µg/l | Ba µg/l | Be µg/l | Cd µg/l | Co µg/l | Cs µg/l | Cr µg/l | Cu µg/l | Ga µg/l | Ge µg/l | Fe mg/l | F µg/l | I µg/l | Li µg/l | Mn mg/l | Mo µg/l | Ni µg/l |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Voda Kopaonik | 8,38 | 0,326 | 1400 | 607 | 0,01 | <0,001 | 0,041 | 20,9 | 0,304 | 0,207 | 0,0023 | 17,8 | 3,03 | 2,39 | 11,6 | 283 | 0,0030 | 537 | 4,85 |
| Aqua Balkanika | 0,526 | 0,085 | 92,9 | 432 | <0,001 | 0,005 | 0,01 | 0,042 | 1,27 | 0,113 | 0,0167 | 0,007 | 0,277 | 0,005 | 13,6 | 31,2 | 0,0010 | 0,270 | 0,046 |
| Eva | 0,5 | 6,26 | 22,3 | 8,73 | 0,001 | 0,003 | 0,018 | 0,596 | 0,967 | 0,824 | 0,0047 | 0,014 | 0,34 | 0,084 | 2,97 | 2,02 | 0,0010 | 0,250 | 0,359 |
| Dar voda | 1,28 | 0,616 | 249 | 112 | 0,512 | 0,001 | 0,042 | 84,7 | 0,125 | 0,129 | 0,0024 | 1,36 | 101 | 1,39 | 58,1 | 331 | 0,465 | 0,38 | 2,48 |
| Minaqua | 10,1 | 0,106 | 1250 | 169 | 0,002 | 0,002 | 0,025 | 0,78 | 0,090 | 0,358 | 0,0334 | 0,22 | 3,29 | 0,459 | 686 | 72,8 | 0,0250 | 0,930 | 0,679 |
| Jazak | <0,3 | 1,28 | 27,2 | 36,2 | 0,005 | <0,001 | 0,011 | 1,52 | 2,4 | 1,43 | 0,005 | 0,018 | 0,237 | 0,135 | 3,52 | 3,96 | 0,0010 | 1,450 | 0,537 |
| Duboka | 1,23 | 2,28 | 158 | 128 | 0,037 | 0,002 | 0,03 | 3,33 | 0,284 | 0,333 | <0,0005 | 0,38 | 1,27 | 0,477 | 10,2 | 43,5 | 0,0010 | 0,268 | 1,29 |
| Voda Voda | 1,22 | 5,33 | 408 | 121 | 0,019 | 0,007 | 0,026 | 38,4 | 0,97 | 0,452 | 0,0024 | 1,99 | 0,193 | 0,747 | 4,85 | 200 | 0,0010 | 1,147 | 9,12 |
| Voda Vrnjci | 0,567 | 2,64 | 631 | 305 | 0,308 | 0,001 | 0,057 | 52,7 | 0,101 | 1,18 | 0,0048 | 15,3 | 0,324 | 1,7 | 7,04 | 464 | 0,0030 | 1,760 | 0,839 |
| Mivela | 0,711 | 0,14 | 783 | 78,3 | 0,016 | 0,004 | 0,016 | 25,9 | 0,152 | 0,293 | 0,005 | 2,65 | 6,85 | 0,155 | 12,8 | 300 | 0,039 | 0,19 | 1,61 |
| Iva | 1,2 | 2,8 | 39,8 | 10,5 | 0,001 | 0,012 | 0,032 | 0,325 | 1,47 | 0,566 | <0,0005 | 0,056 | 0,912 | 0,106 | 2,7 | 1,9 | 0,0010 | 0,13 | 7,87 |
| Bivoda | 1,16 | 1,13 | 5660 | 152 | 0,012 | <0,001 | 0,006 | 0,385 | 0,296 | 0,501 | <0,0005 | 16,2 | 3,88 | 1,16 | 19,1 | 985 | 0,0360 | 0,870 | 0,055 |
| Tronoša | <0,3 | 1,82 | 22,1 | 15,2 | 0,007 | 0,014 | 0,683 | 0,219 | 0,302 | 2,48 | 0,0095 | 0,005 | 0,132 | 0,089 | 1,68 | 0,762 | 0,0010 | 0,471 | 3,68 |
| Medijana za vode Srbije (N = 13) | 1,16 | 1,28 | 248 | 112 | 0,01 | 0,002 | 0,026 | 1,52 | 0,302 | 0,452 | 0,0047 | 0,38 | 0,912 | 0,459 | 10,2 | 72,8 | 0,0010 | 1,147 | 1,29 |
| Medijana za vode Evrope ^a (N = 1785) | 1,95 | 0,21 | 47,6 | 30,6 | 0,002 | 0,003 | 0,023 | 0,042 | 0,123 | 0,251 | 0,0294 | 0,029 | 1,26 | 0,211 | 4,76 | 14,9 | 0,8080 | 0,2750 | 0,204 |
| | Pb µg/l | Rb µg/l | Sb µg/l | Se µg/l | Sn µg/l | Sr µg/l | Ti µg/l | Te µg/l | Tl µg/l | U µg/l | V µg/l | W µg/l | Zn mg/l | Br mg/l | NH ₄ mg/l | NO ₂ mg/l | NO ₃ mg/l | PO ₄ mg/l | Si mg/l |
| Voda Kopaonik | 0,0183 | 18 | 0,359 | 0,01 | 0,0145 | 0,683 | <0,01 | <0,005 | 0,005 | 0,0016 | 0,868 | 0,071 | 0,0609 | 0,053 | <0,005 | <0,005 | 0,22 | -0,02 | 11,1 |
| Aqua Balkanika | 0,0029 | 1,43 | 0,397 | <0,01 | 0,0073 | 1,03 | 0,351 | 0,013 | 0,004 | 0,026 | 0,037 | 0,018 | 0,827 | 0,039 | 0,006 | <0,005 | 3,33 | 0,05 | 2,24 |
| Eva | 0,0056 | 1,23 | 2,93 | 0,149 | 0,0214 | 0,379 | <0,01 | 0,009 | 0,009 | 0,0054 | 0,115 | 0,028 | 0,644 | 0,043 | <0,005 | <0,005 | -0,01 | 0,24 | 4,44 |
| Dar voda | 0,0798 | 148 | 0,313 | 0,114 | 0,017 | 0,455 | 0,27 | 0,008 | 0,013 | 0,015 | 0,396 | 0,319 | 0,834 | 1,78 | 0,205 | <0,005 | 0,05 | 0,56 | 11 |
| Minaqua | 0,0359 | 3,68 | 0,3940 | 0,0192 | 0,032 | 1,08 | 0,0376 | 0,005 | 0,013 | 0,0746 | 0,213 | 0,457 | 0,427 | 0,029 | 4,4 | <0,005 | 0,63 | 0,12 | 12,5 |
| Jazak | 0,0372 | 1,34 | 0,402 | 0,206 | 0,016 | 1,49 | 0,115 | 0,034 | 0,017 | 1,83 | 0,293 | 0,064 | 1,1 | 1,71 | <0,005 | 0,144 | 0,46 | 0,65 | 5,66 |
| Duboka | 0,0145 | 17,1 | 0,585 | 0,109 | 0,0097 | 0,054 | <0,01 | <0,005 | 0,052 | 0,784 | 1,18 | 0,049 | 1,21 | 0,0075 | <0,005 | <0,005 | 5,54 | 0,07 | 10,6 |
| Voda Voda | 0,0087 | 17,3 | 1,61 | 0,133 | 0,004 | 0,314 | <0,01 | <0,005 | 1,11 | 0,554 | 0,207 | 11 | 0,939 | 0,005 | <0,005 | 0,014 | 4,39 | 0,05 | 7,95 |
| Voda Vrnjci | 0,0049 | 205 | 0,41 | 0,02210 | 0,0051 | 0,41 | 0,073 | 0,006 | 0,011 | 1,03 | 0,085 | 0,231 | 0,89 | 0,051 | 0,012 | <0,005 | 3,36 | 0,11 | 37,6 |
| Mivela | 0,0855 | 40,7 | 0,1610 | 0,01460 | 0,0047 | 0,406 | 0,0336 | 0,009 | 0,006 | 1,54 | 0,096 | 0,233 | 2,01 | 0,071 | 0,114 | <0,005 | 3,75 | 0,14 | 30,1 |
| Iva | 0,042 | 0,8750 | 3,110 | 0,07280 | 0,0042 | 0,294 | <0,01 | <0,005 | 0,01 | 0,275 | 0,622 | 0,068 | 0,794 | 0,018 | <0,005 | <0,005 | 1,66 | 0,03 | 7,39 |
| Bivoda | 0,0319 | 163 | 0,8130 | 0,03310 | 0,0052 | 0,307 | 0,0334 | <0,005 | 0,007 | 0,179 | 4,45 | 0,102 | 1,46 | 0,005 | 1,16 | <0,005 | 2,2 | -0,02 | 41,5 |
| Tronoša | 0,07590 | 3,880 | 6,070 | 0,0595 | 0,007 | 0,209 | 0,0731 | <0,005 | 0,054 | 1,25 | 0,275 | 0,033 | 3,27 | 0,02 | <0,005 | 0,025 | 9,21 | 0,03 | 3,13 |
| Medijana za vode Srbije (N = 13) | 0,0319 | 17,1 | 0,4020 | 0,05950 | 0,0073 | 0,406 | 0,0336 | 0,005 | 0,014 | 0,275 | 0,275 | 0,071 | 0,89 | 0,039 | <0,005 | <0,005 | 2,2 | 0,07 | 10,6 |
| Medijana za vode Evrope (N = 1785) | 0,0229 | 2,69 | 0,2170 | 0,0364 | 0,006 | 0,406 | 0,052 | 0,007 | 0,00365 | 0,209 | 0,146 | 0,0189 | 1,2 | 0,039 | <0,005 | <0,005 | 1,08 | 0,14 | 6,64 |

iz literature [13], tendencija flaširanja malomineralnih voda zastupljena je u zapadnoj Evropi, dok se mineralne vode flaširaju u severo-istočnoj Evropi: Slovačka (do 26500 µS/cm), Mađarska (do 2600 µS/cm), Češka (do 21500 µS/cm), Rusija (do 11600 µS/cm) i Ukrajina (do 9100 µS/cm).

Mineralizacija (M) je u opsegu od 202,6 do 3400,8 mg/l. Malomineralne, odnosno vode do 1 g/l se zahva-

taju pretežno iz karbonatnih stena – krečnjaka i dolomita, dok se mineralne vode (>1 g/l) zahvataju pretežno iz magmatskih i metamorfnihi stena. Među analiziranim vodama ne nalaze se uzorci voda sa veoma niskim sadržajem rastvorenih materija kao što su Vlasina (30 mg/l), Rosa (58 mg/l) i Prolom (150 mg/l).

Genetski dijagram [14], formiran na osnovu sadržaja makrokomponenti u vodi, pokazao se veoma pouzdan

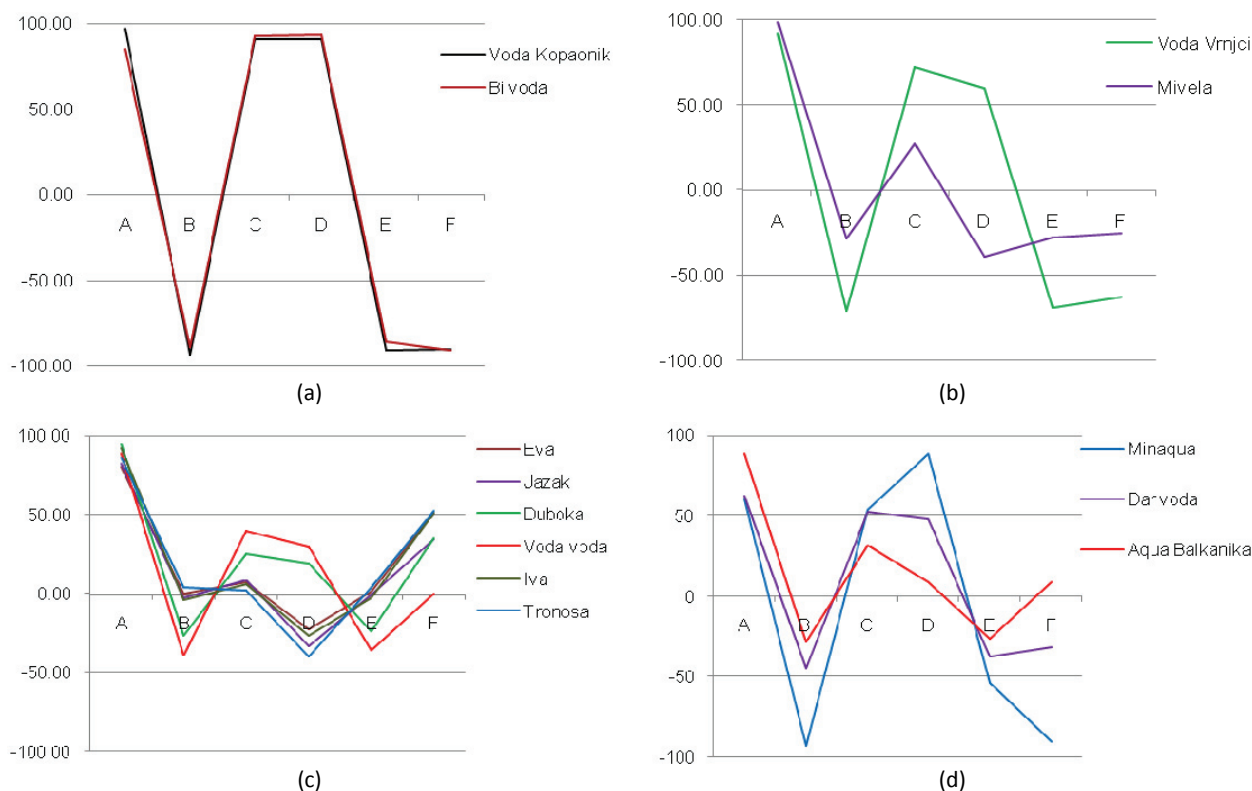
za bolje razumevanja litologije akvifera, posebno ako su vode formirane u različitim uslovima [15]. Na slici 2a prikazane su vode koje se dovode u kontakt sa granitoidnim stenama, čiji uticaj potvrđuje tipičan oblik linije.

Na slici 2c prikazane su vode zahvaćene iz karbonatnih stena. Parametri ABCDEF imaju slične vrednosti za vodu Tronošu, Jazak, Ivu i Evu, dok oblici linija za Voda Vodu i Duboku, kao i Dar vodu (slika 2d) i Vodu Vrnjci (slika 2b) ukazuju na sličnost sa oblikom linije voda koje su formirane u granitoidnim stenama (slika 2a). Linije drugih voda (slike 2b i 2d) ukazuju na kompleksne uslove njihovih formiranja.

Makrokomponente su prikazane i na trilinearnom dijagramu (slika 3). Na datom dijagramu uočava se da su analizirane vode u pogledu anjona HCO_3 , izuzev vode Minaqua koja je $\text{HCO}_3\text{-Cl}$. Natrijum je dominantniji u mineralnim vodama, dok je kalcijum dominantan u malo-mineralnim vodama. Magnezijum je retko dominantan u vodi.

Na osnovu dominantnih makrokomponentata, odnosno na osnovu sadržaja jona većim od 20 meq%, mogu se izdvojiti sledeći tipovi flaširanih voda: $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na}$.

$\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ tipu voda pripada voda Minaqua (Novi Sad). Voda je zahvaćena iz neogenih sedimenata Panonskog basena. U vodi je konstatovan povišen sadržaj NH_4^+ , I i B (tabela 3). NH_4 jon se formira u anaerobnoj sredini, dijagenezom organskih materija u odsustvu procesa nitrifikacije [13]. U vodi Minaqua vrednost I je 686 $\mu\text{g/l}$, dok je medijana za analizirane vode Srbije 10,2 $\mu\text{g/l}$, a za vode Evrope 4,76 $\mu\text{g/l}$. Poznato je da morska voda sadrži velike količine I, tako da je isušivanje Panonskog mora dovelo do taloženja joda na njegovim obodnim delovima, što objašnjava njegov povišeni sadržaj u vodi. Visoka vrednost I zabeležena je i u flaširanim vodama Mađarske, Slovačke, Hrvatske i Češke. B se taloži u naslagama evaporita (u kojima se talože i jodidi) ili se vode obogaćuju borom iz neogenih se-

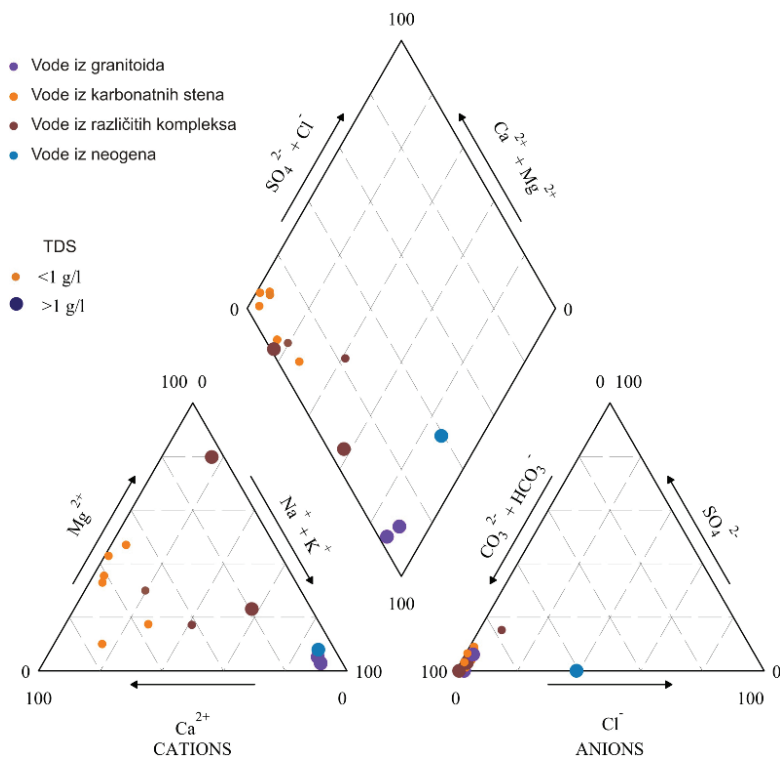


Slika 2. Genetski dijagram na osnovu sadržaja katjona i anjona izraženim u %eq. a) Vode zahvaćene iz granitoida; b) vode zahvaćene iz različitih akvifera; c) vode zahvaćene iz karbonatnih stena; d) vode zahvaćene iz neogenih sedimenata.

Figure 2. Genetic diagram based on cations and anions expressed in %eq. a) Samples captured from granitoid rocks; b) samples captured from different aquifer; c) samples captured from carbonated rocks; d) samples captured from Neogene sediments.

$$A = \left[\frac{100}{\sum(-)} (\text{HCO}_3 - \text{SO}_4) \right], B = 100 \left[\left(\frac{\text{SO}_4}{\sum(-)} \right) - \left(\frac{\text{Na}}{\sum(+)} \right) \right], C = 100 \left[\left(\frac{\text{Na}}{\sum(+)} \right) - \left(\frac{\text{Cl}}{\sum(-)} \right) \right]$$

$$D = 100 \left(\frac{\text{Na} - \text{Mg}}{\sum+} \right), E = 100 \left[\left(\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\sum(+)} \right) - \left(\frac{\text{HCO}_3}{\sum(-)} \right) \right], F = 100 \left(\frac{\text{Ca} - \text{Na} - \text{K}}{\sum+} \right)$$



Slika 3. Trilinearni dijagram flaširanih voda Srbije.
Figure 3. Trilinear diagram of bottled water in Serbia.

dimenata, odnosno peščara i glinaca koji sadrže borni mineral sirlezit [16].

HCO₃–Na vode su vode formirane u okviru magmatskih i metamornih stena. Poredeći medijane za flaširane vode u Srbiji i Evropi (tabela 2), može se reći da se u Srbiji znatno više flaširaju vode HCO₃–Na tipa, obogaćene mikroelementima. Ovoj grupi pripadaju Voda Kopaonik, Voda Vrnjci i Bivoda. U navedenim vodama konstatovan je povišen sadržaj Ge i Li, dok se često javlja i B, Cs, F, Rb i Si (slika 4).

Svi ovi elementi se genetski vezuju za minerale magmatskih stena. Li je najzastupljeniji u granitima i veoma se često javlja u mineralima stena nastalih u poslednjoj fazi kristalizacije magme, kao što su minerali pegmatita [13]. Pegmatiti su obogaćeni B (mineral turmalin) i Ge, koji je redak element i osim u granitnim pegmatitima, javlja se u sulfidima Cu, Pb i Zn [13]. U termalnim vodama sa visokom pH vrednošću, visokim sadržajem Na i niskim sadržajem Ca, koncentracije Ge dostižu 100 mg/l [17]. Bernstein [18] zaključuje da se Ge najviše koncentriše u termalnim, alkalnim vodama koje prolaze kroz termalno alterisane sedimentne stene obogaćene organskim Ge.

U magmatskim i metamornim stenama razvijena je pukotinska poroznost, odnosno podzemne vode cirkulišu duž raseda i pukotina. Sa velikih dubina duž ovih sistema cirkulišu hidrotermalni rastvori koji prinose rastvorene materije u podzemne vode. Najčešći indikator ovog procesa je povišen sadržaj fluora u vodi, kao i po-

java prirodnog CO₂ u vodi. Nosioci fluora su minerali apatit, biotit, fluorit koji se najčešće javljaju u granitoidnim stenama [19,20].

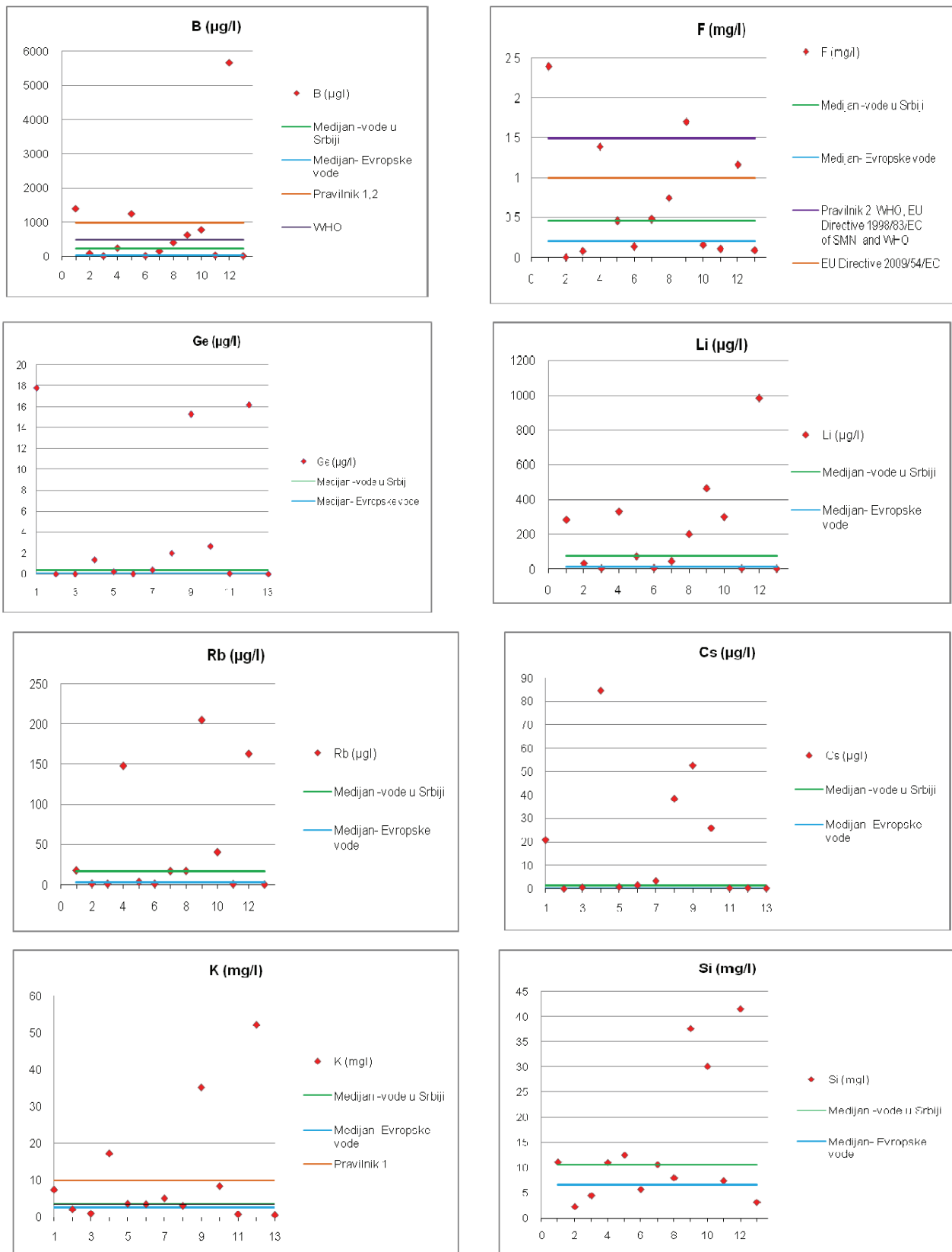
Raspadanje (hidroliza) silikatnih minerala, posebno feldspata je najznačajniji izvor Si u vodi [13]. Si je prirodni geotermometar i ukazuje na povišene temperature podzemnih voda.

Termalne vode su često obogaćene i Cs i Rb. Cs i Rb često zamenjuju K u liskunima i K-feldspatima, čije raspadanje predstavlja glavni izvor ovih elemenata u datoj sredini, a najviše ih ima u granitima, a zatim u bazaltima [13].

Iako svi ovi elementi ukazuju na značajan uticaj granitoida, da spomenemo da je Bivoda zahvaćena iz laporaca i peščara u okviru Bujanovačke kotline. Posmatrajući površinu terena kotlinu okružuje i stari Bujanovački granitoid, koji zaleže i u podini kotline. Geofizička istraživanja ukazuju na postojanje mladog intruziva ispod sedimentata kotline [21] kao i geotermalna istraživanja na datom području [22].

Izvorište vode Vrnjci nalazi se u okviru rasedne zone između serpentinita i paleozojskih škriljaca. Serpentinit i serpentinisani ultramafiti su usloveli povišen sadržaj Mg i Ni u vodi, dok hemijski sastav i povišena temperatura ukazuju na uticaj pokrivenog magmatskog tela.

Voda Kopaonik se zahvata iz flišnih sedimentata sa 726 m dubine, pri čemu je voda u ovim sedimentima samo akumulirana, a očigledno je da je formirana u uslovima usporene vodozame u duž granitoidnih stena.



Slika 4. Dijagrami sa prikazom vrednosti pojedinih elemenata u flaširanim vodama Srbije, njihovih medijana, medijana flaširanih voda Evrope, vrednosti preporučene domaćim Pravilnicima, standardima EU i standardom SZO.

Figure 4. Diagrams showing the values of certain elements in bottled waters of Serbia, their median, the median of bottled waters of Europe, the recommended value of the Regulations of Republic of Serbia, EU Directives and WHO Standard.

Predstavnik $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ tipa vode je ugljikisela Dar voda (kod Arandjelovca). Dar voda se takođe zahvata iz fliša u čijoj se podini nalaze magmatske i metamorfne stene. U vodi je konstatovan povišen sadržaj F, a potom i Fe i Mn (tabela 3), kao posledica raspadanja minerala magmatskih stena. Mn se inače javlja prirodno u vodama, naročito u anaerobnim ili nisko oksidacionim uslovima, u kojima dolazi i do redukcije Fe (III) do Fe (II).

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ tipu voda pripadaju voda Duboka i voda Voda. Iako su ove vode akumulirane u karstu, već je na genetskom dijagramu uočeno da ove vode nisu tipične krečnjačke vode. U hemijskoj analizi vode Duboka, visoke vrednosti Na, HCO_3 i Ep, zatim prisustvo CO_2 i povišena temperatura (20°C) ukazuju na cirkulaciju vode kroz granitoidne stene. Ovakav fizičko-hemijski sastav vode posledica je brojnih pukotinskih i rasednih struktura koje su ostvarile kontakt sa granitoidnom intruzijom. Voda Duboka je obogaćena i Ca, rastvorenim iz karbonatnih stena.

U vodi Voda (Gornja Toplica, banja Vrujci) zabeležene su povišene koncentracije Tl i W (tabela 3). Tokom diferencijacije magme velike količine Tl jona obogaćuju fluide kasnih pegmatitskih i hidrotermalnih faza [23]. U skladu sa tim Tl se najčešće sreće u pegmatitima, kao i kiselim i intermedijarnim stenama [24], a W se osim u pegmatitima sreće i u škriljcima i granitima. I ova voda ima povišenu temperaturu (oko 20°C).

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$ tip voda je retko zastupljen. Predstavnik je voda Aqua Balkanika koja se zahvata iz neo-

genih sedimenata, i obogaćena je sa CO_2 .

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ tip vode formiran je u vodama Eva, Jazak, Iva i Tronoša. Ovaj tip voda se formira u okviru krečnjačkih i dolomitskih stena, i retko kad sadrži povišen sadržaj pojedinih mikroelemenata. U vodi Jazak vrednost Cr je $2,4\ \mu\text{g/l}$, što je daleko ispod dozvoljenih vrednosti prema pravilnicima (tabela 1), ali je ona u odnosu na ostale vode iz Srbije, kao i na vode iz Evrope povišena. Cr u vodi je u vezi sa gabrom koji se javlja istočno od sela Jazak [25] i ukazuje na pravac cirkulacije vode.

$\text{HCO}_3\text{-Mg-Na}$ tip voda predstavlja voda Mivela (Veluće). Voda je mineralna, ali obogaćena samo makrokomponentama, dok značajnije vrednosti mikroelemenata nisu uočene. Visoka koncentracija Mg ($324\ \text{mg/l}$) poreklom je od minerala serpentinita. Magnezijumske vode u su u svetu veoma retke. Osim u Srbiji, magnezijumske vode se flaširaju u Sloveniji (Donat), Češkoj (Zaječická Hořká) i Mađarskoj (Ferenc Jozsef).

Vode iz javnih vodovoda

Radi postizanja regionalne zastupljenosti, odabrano je 14 voda sa javnih sistema vodosnabdevanja i analizirane su u laboratoriji BGR-a (tabele 4 i 5). Analizirane vode javnih sistema potiču iz različitih hidrogeoloških sredina. Sve vode su neutralne do slabo bazne (pH $7,18\text{--}7,7$), sa vrednostima $Ep < 1000\ \mu\text{S/cm}$. Poredeći vrednosti medijane za Ep u vodama iz javnih sistema vodosnabdevanja, uočavaju se iste vrednosti Ep u vodama Srbije i vodama Evrope. U pogledu makrokomponenti,

Tabela 4. Rezultati analiza voda iz javnih sistema vodosnabdevanja u Srbiji (pH, EC, M i makrokomponente)
Table 4. Results of analyzed tap water of Serbia (pH, EC, TDS and macrocomponents)

| Uzorak vode sa česme | pH | Ep $\mu\text{S/cm}$ | Sadržaj, mg/l | | | | | | | | | |
|--|------|------------------------|---------------|--------|------|------|------|-----|------|---------------|----------------|--|
| | | | M^a | M^b | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO_4 | HCO_3 | |
| Leskovac | 7,26 | 454 | 336 | 295,1 | 75,2 | 19,2 | 23,9 | 2,6 | 26,5 | 59,6 | 258 | |
| Vranje | 7,18 | 538 | 402,7 | 349,7 | 75,5 | 24,4 | 45,3 | 3 | 25,1 | 65,4 | 328 | |
| Bujanovac | 7,35 | 117 | 81,65 | 76,05 | 18,1 | 4,27 | 4,3 | 1,4 | 2,58 | 26,4 | 49,2 | |
| Niš | 7,51 | 379 | 277,69 | 246,35 | 104 | 3,4 | 0,9 | 0,2 | 1,41 | 8,78 | 318 | |
| Senta | 7,7 | 715 | 571,58 | 464,75 | 19,3 | 12,3 | 208 | 0,7 | 12,7 | 0,08 | 637 | |
| Brus | 7,56 | 188 | 129,29 | 122,2 | 45,8 | 2,65 | 1,3 | 0,6 | 0,95 | 5,49 | 145 | |
| Kraljevo | 7,56 | 447 | 320,7 | 290,55 | 57,7 | 40,9 | 10,5 | 1,8 | 10,7 | 34,1 | 330 | |
| Čačak | 7,48 | 255 | 181,25 | 165,75 | 57,7 | 6,38 | 2,1 | 0,9 | 3,97 | 32,7 | 155 | |
| Sjenica | 7,6 | 294 | 203,84 | 191,1 | 71,5 | 5,74 | 0,9 | 0,5 | 1 | 1,7 | 245 | |
| Zaječar | 7,59 | 365 | 268,37 | 237,25 | 85,3 | 6,3 | 4,6 | 1,2 | 4,47 | 37,5 | 258 | |
| Zrenjanin | 7,56 | 928 | 758,57 | 603,2 | 27,4 | 13,6 | 275 | 1,2 | 17,4 | 0,97 | 846 | |
| Užice | 7,37 | 281 | 196,17 | 182,65 | 34,4 | 24,4 | 2,2 | 0,6 | 4,87 | 41,2 | 177 | |
| V. Gradište | 7,4 | 566 | 451,2 | 367,9 | 112 | 22,8 | 10,8 | 2,1 | 10 | 149 | 289 | |
| Beograd | 7,56 | 318 | 225,6 | 206,7 | 61,1 | 11,1 | 6,5 | 1,1 | 11,3 | 37,5 | 194 | |
| Medijana za vode Srbije (N = 14) | 7,45 | 365 | – | – | 57,7 | 11,1 | 4,6 | 1,1 | 4,87 | 32,7 | 258 | |
| Medijana za vode Evrope ^c (N = 579) | 7,67 | 365 | – | – | 59,5 | 9,61 | 9,47 | 1,6 | 14,1 | 26,9 | 191 | |

^aMakrokomponente + mikroelementi + elementi u tragovima; ^b $0,65Ep$ [50]; ^cref. [13]

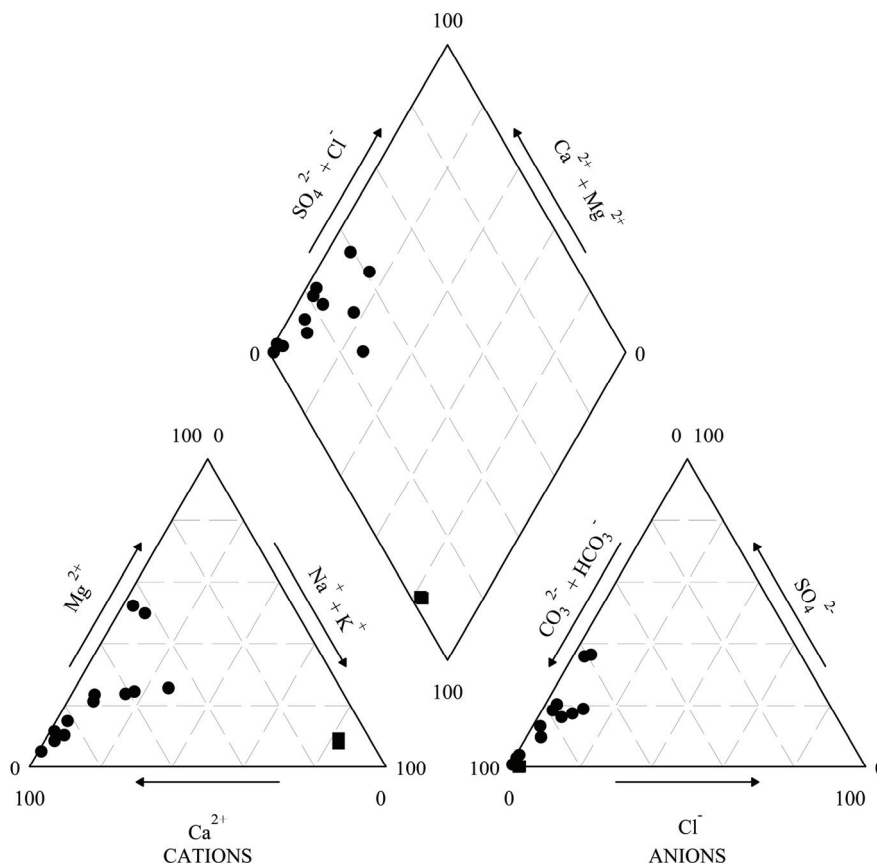
Tabela 5. Rezultati analiza voda iz javnih sistema vodosnabdevanja u Srbiji (mikrokomponente)
Table 5. Results of analyzed tap water of Serbia (microelements and trace elements)

| Uzorak flaširane vode | Al μg/l | As μg/l | B μg/l | Ba μg/l | Be μg/l | Cd μg/l | Co μg/l | Cs μg/l | Cr μg/l | Cu μg/l | Ga μg/l | Ge μg/l | Fe mg/l | F μg/l | I μg/l | Li μg/l | Mn mg/l | Mo μg/l | Ni μg/l |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Leskovac | <0,3 | 0,191 | 115 | 94,6 | 0,00150 | 0,01160 | 0,05310 | 0,0014 | <0,03 | 0,13 | 1,73 | 0,0513 | 87,3 | 0,2 | 13,4 | 16,4 | 59,4 | 0,254 | 0,313 |
| Vranje | 0,357 | 0,376 | 183 | 80,1 | 0,00150 | 0,01270 | 0,04890 | 0,0064 | 0,195 | 5,9 | 1,46 | 0,0246 | 2,89 | 0,232 | 12,7 | 10,9 | 1,31 | 0,346 | 0,813 |
| Bujanovac | 13,1 | 0,114 | 8,27 | 26,4 | 0,00280 | 0,00690 | 0,02310 | 0,0029 | 0,0617 | 2,88 | 0,522 | <0,005 | 1,92 | 0,066 | 1,77 | 1,06 | 1,01 | 1,04 | 0,247 |
| Niš | 1,73 | 1,59 | 11,3 | 8,09 | 0,00250 | 0,00870 | 0,0246 | 0,193 | 0,147 | 16,8 | 0,15 | 0,03530 | 0,736 | 0,022 | 1,84 | 1,07 | <0,1 | 0,163 | 0,212 |
| Senta | 1,09 | 20,9 | 1170 | 69,3 | <0,0010 | 0,00250 | 0,08030 | 0,0251 | 0,0571 | 0,213 | 1,28 | 0,248 | 36,5 | 0,358 | 36,2 | 6,1 | 21,8 | 0,472 | 0,171 |
| Brus | 0,931 | 0,961 | 17,7 | 6,07 | 0,00560 | 0,00800 | 0,0084 | 0,018 | 1,33 | 1,21 | 0,112 | 0,05550 | 0,712 | 0,027 | 2,3 | 0,501 | <0,1 | 0,11 | 0,109 |
| Kraljevo | 0,451 | 2,06 | 76,6 | 38,8 | <0,0010 | 0,00180 | 0,0392 | 0,412 | 4,4 | 3,94 | 0,724 | 0,02370 | 0,628 | 0,08 | 2,51 | 4,93 | <0,1 | 0,272 | 3,16 |
| Čačak | 30,8 | 0,142 | 17,5 | 11,1 | 0,00120 | 0,00550 | 0,04130 | 0,0062 | 0,544 | 0,688 | 0,264 | <0,005 | 2,24 | 0,021 | 1,25 | 1,59 | 1,72 | 0,0541 | 1,99 |
| Sjenica | 1,4 | 0,439 | 6,46 | 13,6 | <0,0010 | 0,00220 | 0,01350 | 0,0208 | 0,336 | 6,54 | 0,249 | <0,005 | 0,522 | 0,021 | 1,67 | 0,76 | <0,1 | 0,04530 | 0,0549 |
| Zaječar | 15,4 | 0,196 | 12 | 16,9 | 0,00190 | 0,0036 | 0,027 | 0,0012 | 0,099 | 3,94 | 0,361 | 0,0059 | 1,01 | 0,059 | 1,93 | 0,969 | 0,378 | 0,136 | 0,321 |
| Zrenjanin | 0,976 | 71,9 | 895 | 83 | 0,00190 | 0,0036 | 0,228 | 0,0080 | 0,134 | 2,32 | 1,54 | 0,185 | 87,5 | 0,219 | 21,8 | 6,23 | 27 | 1,12 | 0,189 |
| Užice | 24 | 0,241 | 32,6 | 5,79 | 0,00310 | 0,00510 | 0,05730 | 0,0018 | 1,03 | 1,61 | 0,184 | <0,005 | 2,87 | 0,016 | 1,81 | 3,45 | 0,4460 | 0,742 | 9,14 |
| V. Gradište | 0,585 | 0,324 | 18 | 42,8 | 0,0013 | 0,116 | 0,0328 | <0,001 | 0,77 | 3,31 | 0,755 | 0,0084 | 7,62 | 0,074 | 4,52 | 1,06 | 8,37 | 0,226 | 0,827 |
| Beograd | 25,8 | 0,29 | 22,2 | 22,3 | 0,00130 | 0,0136 | 0,043 | 0,0041 | 0,386 | 14,6 | 0,525 | 0,0121 | 2,34 | 0,045 | 2,2 | 2,36 | 1,2 | 0,49 | 1,26 |
| Medijana za vode Srbije (N = 14) | 1,09 | 0,324 | 18 | 22,3 | 0,00150 | 0,00550 | 0,03920 | 0,0062 | 0,195 | 2,88 | 0,522 | 0,0121 | 2,24 | 0,059 | 2,2 | 1,59 | 1,01 | 0,226 | 0,313 |
| Medijana za vode Evrope ^a (N = 579) | 2,47 | 0,19 | 15,5 | 30,1 | 0,00270 | 0,00830 | 0,02310 | 0,0075 | 0,185 | 5,65 | 0,07270 | 0,0109 | 3,21 | 0,087 | 3,23 | 2,65 | 0,544 | 0,233 | 0,381 |
| | Pb μg/l | Rb μg/l | Sb μg/l | Se μg/l | Sn μg/l | Sr μg/l | Ti μg/l | Te μg/l | Tl μg/l | U μg/l | V μg/l | W μg/l | Zn mg/l | Br mg/l | NH ₄ mg/l | NO ₂ mg/l | NO ₃ mg/l | PO ₄ mg/l | Si mg/l |
| Leskovac | 0,01290 | 1,11 | 0,035 | 0,661 | 0,0194 | 0,525 | 0,136 | 0,0158 | 0,0006 | 3 | 0,05250 | 0,0113 | 10,9 | 0,048 | 0,008 | 0,015 | 7,23 | 0,21 | 12,4 |
| Vranje | 0,04750 | 2,920 | 0,0589 | 0,195 | 0,0041 | 0,463 | 0,109 | <0,005 | 0,0005 | 2,94 | 0,668 | 0,0044 | 34,6 | 0,028 | <0,005 | <0,005 | 15,8 | 0,13 | 12,3 |
| Bujanovac | 0,02770 | 6,670 | 0,03790 | 0,02820 | 0,0046 | 0,117 | 0,02730 | 0,0069 | 0,0008 | 0,149 | 0,151 | 0,0161 | 96 | <0,003 | 0,007 | <0,005 | 0,97 | 0,04 | 5,42 |
| Niš | 0,408 | 0,41 | 0,0554 | 0,052 | 0,012 | 0,072 | 0,02740 | 0,0137 | 0,0022 | 0,333 | 0,28 | 0,0488 | 27,5 | 0,003 | <0,005 | <0,005 | 1,76 | 0,05 | 1,92 |
| Senta | 0,02270 | 2,215 | 0,0636 | <0,01 | 0,0084 | 0,146 | 0,0551 | <0,005 | 0,0008 | 0,00730 | 0,0536 | 0,715 | 117 | 0,056 | 0,005 | <0,005 | <0,01 | 0,54 | 8,37 |
| Brus | 0,153 | 0,765 | 0,161 | 0,07120 | 0,0109 | 0,111 | <0,01 | <0,005 | 0,0007 | 0,131 | 0,327 | 0,0329 | 25,6 | <0,003 | 0,01 | 0,026 | 2,36 | 0,03 | 3,46 |
| Kraljevo | 0,208 | 1,12 | 0,389 | 0,175 | 0,0104 | 0,235 | 0,0828 | 0,016 | 0,0014 | 0,406 | 0,41 | 0,0335 | 3,99 | 0,004 | <0,005 | <0,005 | 11,6 | 0,11 | 10,8 |
| Čačak | 0,0293 | 0,28 | 0,0734 | 0,051 | 0,0704 | 0,099 | 0,02780 | 0,0183 | <0,0005 | 0,107 | 0,244 | 0,0070 | 2,16 | <0,003 | 0,006 | <0,005 | 5,86 | <0,02 | 3,6 |
| Sjenica | 0,136 | 0,6650 | 0,0459 | 0,112 | 0,0122 | 0,115 | 0,02790 | 0,0184 | 0,0013 | 0,301 | 0,433 | 0,0048 | 4,28 | <0,003 | <0,005 | <0,005 | 4,13 | 0,03 | 3,83 |
| Zaječar | 0,05880 | 2,16 | 0,182 | 0,253 | 0,0133 | 0,202 | 0,028 | 0,0070 | 0,0008 | 0,59 | 0,725 | 0,0052 | 5,67 | 0,003 | 0,006 | <0,005 | 3,67 | <0,02 | 3,55 |
| Zrenjanin | 0,01520 | 2,272 | 0,109 | 0,02370 | 0,0097 | 0,193 | 0,222 | 0,0070 | <0,0005 | 0,0021 | 0,297 | 0,877 | 4,14 | 0,111 | 0,502 | <0,005 | 0,02 | 1,05 | 8,32 |
| Užice | 0,01320 | 2,980 | 0,09330 | 0,05720 | 0,0073 | 0,058 | 0,0278 | <0,005 | 0,0007 | 0,0511 | 0,631 | 0,0186 | 20,2 | <0,003 | 0,01 | <0,005 | 2,65 | <0,02 | 7,99 |
| V. Gradište | 0,06670 | 0,055 | 0,121 | 0,747 | 0,016 | 0,353 | 0,02830 | 0,0094 | 0,0014 | 2,78 | 0,415 | 0,0059 | 99,9 | 0,007 | 0,026 | 0,008 | 15,4 | 0,02 | 6,87 |
| Beograd | 0,124 | 0,613 | 0,242 | 0,08370 | 0,0040 | 0,152 | <0,01 | 0,014 | 0,0022 | 0,338 | 0,56 | 0,054 | 43,7 | <0,003 | 0,005 | <0,005 | 4,48 | <0,02 | 2,76 |
| Medijana za vode Srbije (N = 14) | 0,04750 | 2,920 | 0,07340 | 0,07120 | 0,0104 | 0,146 | 0,0279 | 0,007 | 0,0008 | 0,301 | 0,327 | 0,0161 | 20,2 | 0,003 | 0,006 | <0,005 | 3,67 | 0,03 | 5,42 |
| Medijana za vode Evrope (N = 579) | 0,118 | 0,9090 | 0,0673 | 0,115 | 0,0086 | 0,177 | 0,08670 | 0,0099 | 0,0036 | 0,307 | 0,174 | 0,0113 | 23,5 | 0,011 | <0,005 | <0,005 | 3,88 | 0,03 | 4,3 |

vrednosti medijane za HCO_3^- , SO_4^{2-} su veće u vodama Srbije, dok su vrednosti medijane za Cl^- i Na^+ veće u vodama Evrope.

Klasifikacijom voda prema učešću makrokomponenta >20 meq% (slika 5) u hemijskom sastavu voda iz

javnih vodovodskih sistema, izdvojen je veliki dijapazon tipova voda: $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$. Ova klasifikacija ukazuje na raz-



Slika 5. Trilinearni dijagram vodovodskih voda Srbije (kvadratima su predstavljene vode sa područja Vojvodine, a krugovima ostali uzorci).

Figure 5. Trilinear diagram of tap water in Serbia (water from Vojvodina is represented by squares, other samples by circles).

nolikost voda u pogledu osnovnog katjonsko-anjonskog sastava.

HCO₃–Na tip voda predstavljaju vode sa područja Vojvodine. Analizirane su vode iz Sente i Zrenjanina u kojima je uočen povišen sadržaj As, B i I.

Tokom 2002. godine [26], u pogledu fizičko–hemijskih analiza, utvrđena je 100% neispravnost vode iz vodovoda u Senti (37 uzoraka) i Zrenjaninu (565 uzoraka), zbog boje, sadržaja amonijum jona, gvožđa i utroška KMnO₄. Iako su sve vode sa područja Vojvodine problematične za vodosnabdevanje, najlošije stanje je u srednjem i severnom Banatu [26]. Najveći problem predstavlja visok sadržaj As u vodi za vodosnabdevanje, čija je MDK do 10 µg/l [5–8,10]. Na području Sente, arsena ima dva puta više, dok je na području Zrenjanina zabeležen 7 puta veći sadržaj od dozvoljene vrednosti. Zbog kancerogenog i toksičnog svojstva As, kao i organoleptičkih svojstava (boje, mutnoće, mirisa i ukusa) ove vode nisu za piće.

U odnosu na 579 analiziranih evropskih vodovodskih voda [13], u vodi iz vodovodskih sistema u Senti i Zrenjaninu zabeležena je najviša koncentracija bora. Geološko objašnjenje je da se bor taloži u naslagama evaporita (u kojima se taloži i jod) ili se vode obogaćuju

borom iz neogenih sedimenata [16]. Bor je često i indikator zagađenja, najčešće od hemijske industrije (proizvodnja deterdženata, sapuna, stakla, agrohemijskih i farmaceutskih proizvoda). Ipak najčešće se B u podzemnim vodama javlja kao posledica raspadanja stena.

Koncentracija jodida u vodi nije propisana pravilnicima, ali ako poredimo naše vodovodske vode sa vodovodskim vodama iz Evrope [13], uočava se da 4 vodovodske vode sa područja Srbije (Senta, Zrenjanin, Leskovac i Vranje) imaju koncentracije jodida među prvih 50 od 579 analiziranih evropskih voda. Da napomenemo da su u vodi Minaqua zabeležene najviše koncentracije jodida u flaširanim vodama Srbije (686 µg/l), odnosno, vode Vojvodine su bogate ovim elementom (Minaqua, Senta i Zrenjanin).

HCO₃–Ca tip voda se javlja u podzemnim vodama zahvaćenim sa karstnih vrela. Ovom tipu voda pripadaju vode Niša, Brusa, Sjenice i Zaječara.

Za vodosnabdevanje Niša koristi se voda sa pet karstnih vrela (Krupac, Mokra, Divljana, Ljuberađa i Studena), i povremeno voda reke Nišave, preko infiltracionih basena u sistemu Medijane. Kvalitet vode je stabilan, bez oscilacija od početka rada vodovoda.

Sa krečnjačkog vrela Zarudine, izdašnosti oko 230 l/s, zahvata se 80 l/s za vodovod Sjenice. Voda je dobrog kvaliteta, ali zastarela vodovodna mreža, i oštećene cevi, izazivaju česte probleme i dovode do nestabilnog vodosnabdevanja.

Zaječar koristi podzemne vode iz neogena, sa 150–200 m dubine, zatim aluviona Belog Timoka i dva karstna vrela: Lenovačko i Barbaroš. Zbog nedovoljnog kapaciteta izgrađena je brana na Grliškoj reci [27].

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ tip vode karakteriše vode sa javnog vodovodskog sistema u Beogradu. Grad Beograd se snabdeva podzemnom i površinskom vodom u odnosu 70:30. Izvorište podzemne vode je u priobalju Save, a podzemna voda se zahvata pomoću 98 bunara sa horizontalnim drenovima i 45 cevastih bunara. Količina zahvaćene podzemne vode je oko 5200 l/s. Kapacitet izvorišta podzemne vode ograničen je kolmiranjem dna reke Save i kolmiranjem drenova bunara, pri čemu je prosečna izdašnost oko 50 l/s. Za potrebe vodosnabdevanja Beograda, voda reke Save zahvata se sa oko 2500 l/s, a voda reke Dunav sa oko 60 l/s. Voda se prečišćava u pet postrojenja za prečišćavanje: Bele vode, Banovo brdo, Bežanija, Makiš i Vinča [28].

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$ tip voda je prisutan u vodi iz javnog sistema vodosnabdevanja Vranja. Vranje se nekad snabdevalo vodom iz aluviona Južne Morave, međutim zbog nedovoljnog kapaciteta i problematičnog kvaliteta izgrađena je površinska akumulacija Prvonek.

$\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ tip voda je formiran je u vodovodskoj vodi Kraljeva. Za vodosnabdevanje Kraljevo koristi vodu sa četiri izvorišta u aluvionu reke Ibar. Bunari su dubine do 20 m. Iako je voda Kraljeva na osnovu prikazanih analiza pogodna za upotrebu, problem predstavlja moguća prodor zagađujućih materija iz reke Ibar.

$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$ tip vode je prisutan u vodovodskoj vodi Leskovca, koji se snabdeva podzemnim vodama iz peskova i šljunkova do 200 m dubine i iz akumulacije Barje. Bunarima raspoređenim na tri izvorišta zahvata se oko 400 l/s i snabdeva oko 85.000 stanovnika [29]. U vodi je zabeležena nešto veća količina Mn (59,4 $\mu\text{g/l}$), a Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće [5] propisuje vrednosti do 50 $\mu\text{g/l}$. Međutim, nisu dokazana negativna svojstva Mn, već je veći problem neprijatan miris, ukus i izgled vode. Sagledavajući dozvoljene koncentracije Mn u vodi (tabela 1), uočava se da je naš Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće [5] dosta strožiji od standarda SZO [10], koji popisuje do 400 $\mu\text{g/l}$ Mn u vodi.

$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ tip vode. Na području Čačka postoji nekoliko bunara, dubine do 30 m, koji zahvataju vodu iz aluviona Zapadne Morave. Ovi bunari nisu bili dovoljni za potrebe grada Čačka, pa je izgradnjom vodosistema Rzav obezbeđeno vodosnabdevanje Čačka, Arilja, Požege, Lučana i Gornjeg Milanovca. Od izgradnje sistema, kvalitet vode nije nikad dovođen u pitanje, problem je

jedino kapacitet, što izaziva česte nestašice vode na ovom području.

$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg-Ca}$ tip karakteriše vodu za vodosnabdevanje Užica. U prošlosti se koristila podzemna voda sa nekoliko karstnih vrela. Međutim proširenjem grada, potreba za vodom je rasla, tako da je sredinom osamdesetih godina prošlog veka izgrađena brana Vrutci sa akumulacijom na ulazu u klisuru reke Đetinje. Trenutno se proizvodi oko 350–400 l/s vode, sa mogućnostima proširenja kapaciteta od oko 700 l/s [30].

$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ tip voda zastupljen je u vodi za vodosnabdevanje Velikog Gradišta sa okolinom. Zahvataju se podzemne vode izvorišta u aluvionu reke Pek. Izvorište obuhvata 5 bunara do 30 m dubine [31]. Uticaj površinske vode reke Pek na podzemne vode se ogleda u vodovodskoj vodi Velikog Gradišta, koja ima nešto više koncentracije sulfata u odnosu na ostale vode za javno snabdevanje.

$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$ tip voda je prisutan u vodi Bujanovca. Zahvataju se podzemne vode do 40 m dubine iz aluvijalnih naslaga Binačke Morave. Izvorište čini 10 bunara sa oko 100 l/s vode [32]. Izdan je formirana u okviru peskovito-šljunkovitih naslaga i prihranjuje se: infiltracijom površinskih voda Južne i Binačke Morave, podzemnim doticajem iz kvartarnih sedimenata plavinskih lepeza, proluvijalnih naslaga i neogenih tvorevina iz zaleđa, i infiltracijom od atmosferskih padavina [33].

Uporedna analiza flaširanih i voda iz javnih vodovoda i osvrt na standarde

Na osnovu rezultata ispitivanja katjonsko-anjonskog sastava, a u skladu sa klasifikacijom ispitivanih voda prema učešću makrokomponentata >20 meq%, uočeno je da je u vodama sistema za vodosnabdevanje, izdvojen veliki dijapazon tipova voda, što ukazuje na raznolikost voda po hemijskom sastavu. Za razliku od njih, flaširane vode se mogu svesti na manji broj tipova.

Vodovodske vode su ograničene u pogledu vrednosti elektroprovodljivosti do 1000 $\mu\text{S/cm}$, i mogu se konzumirati bez ograničenja, za razliku od flaširanih, gde se u nekim uzorcima ta vrednost prevazilazi. Hemijske analize uzorkovanih vodovodskih voda uglavnom pokazuju zadovoljavajući kvalitet, s obzirom da su svi parametri u koncentracijama ispod maksimalno dozvoljenih, po preporuci EU i definisanih domaćom i stranom regulativom. Ovo nije slučaj sa vodama sa područja Vojvodine. U vodovodskim vodama Vojvodine, od analiziranih parametara, registrovan je visok sadržaj Na, HCO_3 , B, As, I. Od toga, u skladu sa domaćom i regulativom EU, koje se odnose na pijaće vode, Na, B i As prevazilaze maksimalne dozvoljene koncentracije, dok po pravilnicima nije definisana maksimalna koncentracija jodida. Kako nije utvrđen negativan uticaj na zdravlje čoveka, u pravilnicima [5,7,10] nije definisana maksimalna dozvoljena količina ni za HCO_3 .

Vodovodske vode u Srbiji se najčešće zahvataju iz aluviona, a samo sporadično iz površinskih akumulacija ili preradom rečnih voda. Ovo ukazuje na to da je kvalitet tako zahvaćenih voda izložen uticajima i kvalitetu površinskih tokova. Zbog toga pijaće vode javnih sistema vodosnabdevanja obavezno podležu tretmanu, radi dovođenja do zahtevanog kvaliteta zdravstveno ispravne pijaće vode, uz obaveznu dezinfekciju.

Koncentracije N-nutrijenata su ispod dozvoljenih vrednosti po datim regulativama. Ali uočava se da su vrednosti NO_3^- više u vodovodskim vodama koje koriste vode iz površinskih akumulacija (Vranje i Čačak) i vodama plitkih podzemnih vodozahvata (Leskovac, Kraljevo i V. Gradište), u odnosu na karstna vrela i vode dubljih podzemnih vodozahvata. Takođe se i SO_4^{2-} u vrednosti $>20\text{meq\%}$ pojavljuju u površinskim vodama (Užice i Čačak), vodama iz aluviona (Čačak, Veliko Gradište i Bujanovac) i vodama iz neogena (Leskovac), u koncentracijama ispod MDK [5,7,10].

Konačno, u flaširanim vodama je detektovano prisustvo mikroelemenata, koji mogu imati pozitivan uticaj na zdravlje, unošenjem u ograničenim količinama, a kojih u ispitivanim vodama iz sistema za vodosnabdevanje nema, što je navedeno u daljem tekstu.

Uticaj pojedinih elemenata na zdravlje

Flaširane mineralne, najčešće gazirane vode, koriste se kao osvežavajući napitak i doprinose nadoknadi minerala i mikroelemenata, koji su neophodni za normalno funkcionisanje organizma. Njihovo korišćenje treba ograničiti na oko 2 čaše dnevno. Za razliku od njih, malomineralne ($M < 500 \text{ mg/l}$), negazirane vode su adekvatna zamena za vodu iz javnih sistema vodosnabdevanja i mogu se konzumirati bez ograničenja. Sve flaširane vode podležu kontroli i odobrene su za upotrebu od strane nadležnih ministarstava.

Flaširane vode, naročito mineralne, sadrže elemente koji imaju različita dejstva na zdravlje.

Oligomineralne vode se preporučuju za ljude sa kamenom u bubregu, hipertenzijom i gihtom.

Vode sa visokom koncentracijom HCO_3^- se koriste za olakšavanje varenja [36], a takođe regulišu kiselinsko-bazni balans u krvi. Voda za svakodnevnu upotrebu ne bi trebalo da sadrži više od 30 mg/l sulfata, a za malu decu ne više od 15 mg/l. Vrednosti hlorida u vodi do 250 mg/l su definisane na osnovu ukusa vode još u prvoj ediciji SZO *Guidelines for Drinking Water Quality*, 1984. Značajniji uticaj hlorida na zdravlje nije utvrđen [35], ali se mora uzeti u obzir da pojedinci koji imaju problem sa bolestima srca i bubrega treba da smanje unos voda koje imaju visok sadržaj Cl^- [36].

Natrijum takođe ne pogoduje ljudima sa hipertenzijom, kardiološkim, bubrežnim problemima i ljudima koji imaju lošu cirkulaciju [36]. Kalcijum je element koji pozitivno deluje na kosti i zbog toga se posebno preporučuje za decu, trudnice, žene u menopauzi i starije

ljude. Smatra se da je konzumiranje vode obogaćene Ca^{2+} do 1800 mg/l bezopasno. Ipak, nisu preporučljive za osobe sa mokraćnim i bubrežnim problemima [36].

Voda obogaćena magnezijumom je pogodna za preventivno lečenje hipertenzije, regulaciju nivoa šećera u krvi, poremećaj srčanog ritma, endokrinološka oboljenja, oboljenja nervnog sistema, i dr. Soli magnezijuma imaju laksativno i diuretsko dejstvo. Ipak, najbolje je ne davati veće količine magnezijuma deci do 7 godina, zbog opasnosti od nastanka rahitisa [36].

Kalijum je važan za pravilne srčane kontrakcije, za pravilno funkcionisanje creva i mišića. Nedostatak ovog elementa izaziva hipokalinemiju [37] (slabost, nedostatak energije, mišićni grčevi, stomahni poremećaji i nepravilan srčani rad).

Uticaj bora na zdravlje ljudi još nije sa sigurnošću utvrđen. Pored sumnji da izaziva kancer [38], postoji mišljenje da vode sa malim sadržajem B ($<1 \text{ mg/l}$) blagotvorno deluju na organizam [39], da utiče na zarastanje rana i cerebralne funkcije. Prema nekim autorima ima pozitivan uticaj na osteoporozu, ima antiinflamatorno, antikoagulaciono, antineoplastično dejstvo [40–43].

Cezijum doprinosi lečenju nervnog sistema, epilepsije i reguliše krvni pritisak. Litijum, rubidijum i stroncijum deluju na nervni sistem, ali i na reumatična oboljenja. Stroncijum je važan element za razvoj koštanog tkiva, kao i za sraščivanje kostiju posle preloma. Nedostatak Sr u koštanom tkivu je uočen kod rahitičnih bolesnika [44].

Germanijum poboljšava imunitet organizma, i obezbeđuje veću koncentraciju kiseonika u ćelijama, i preporučuje se za virusna i respiratorna oboljenja [45].

Jod poboljšava pamćenje, raspoloženje, kvalitet kose, kože, zuba i noktiju, esencijalan je element za sintezu hormona tiroidne žlezde. Amonijum jon je toksičan za ljude samo ako se uzima u količinama većim od granice koju organizam može detoksikovati, a to je 33,7 mg amonijum jona po kilogramu telesne težine čoveka dnevno [35]. Preporuka MDK se ne odnosi na geogeno poreklo amonijum jona, a prekoračenje u tom smislu nije ograničeno [36]. Silicijum u vodi utiče na čvrstoću kostiju, elastičnost vezivnog tkiva, pozitivan efekat na kožu, kosu i nokte [46]. Preporučena koncentracija fluorida u vodi, za razvoj kostiju i zuba je između 0,7 i 1,5 mg/l [47]. Za decu je posebno bitno da koriste vode sa optimalnim sadržajem fluorida. Učestalo konzumiranje voda sa visokim sadržajem fluorida dovodi do fluoroze, odnosno nagomilavanja fluorida na kostima i na zubima. Dozirano unošenje F^- je pozitivno sa aspekta pojave karijesa [36]. U mnogim zemljama Evrope, fluoridi se dodaju u pijaće vode ili se u suprotnom radi odstranjivanje fluorida.

Talijum je veoma redak u podzemnim vodama i njegova vrednost je jedino ograničena na 2 $\mu\text{g/l}$, prema

Agenciji za zaštitu životne sredine SAD (US EPA). Tali-
jum i njegove soli su vrlo toksične. Smatra se da kod
ljudi koji godinama piju vodu koja sadrži veće koncen-
tracije Tl od dozvoljenih, ona izaziva povišeni krvni pri-
stisak, probleme sa bubrezima, crevima, jetrom i opada-
nje kose [48].

U pojedinim ispitivanim vodovodskim vodama su
zabeležene povišene koncentracije As, B, Mn i Na.

As je kancerogen i toksičan element. Prema Agenciji
za zaštitu životne sredine SAD [49], As u pijaćim voda-
ma, pored kancera bešike, pluća, kože, bubrega, krvi i
prostata, dovodi do zadebljanja kože i promene u boji
kože, stomaćnih tegoba, mučnina, nedostatka šaka ili
stopala, delimične paralize i slepila.

Mn je esencijalni element za ljude i ima važnu ulogu
u metabolizmu Ca i P, kao i održavanju reproduktivnih
organa [36].

Pojava neželjenih efekata flaširanja i distribucije vode na hemijski sastav vode

U smislu pojave neželjenih komponenata, negativna
strana flaširanih voda je prvenstveno pakovanje. Tako
PET ambalaža može dovesti do povećanja sadržaja Sb u
vodi, dok staklene boce mogu povećati koncentracije
sledećih elemenata: Ce, Pb, Al, Zr, Ti, Cr, itd. [13]. Osim
toga, prilikom prerade plastike oslobađaju se velike ko-
ličine CO₂ u atmosferu.

Kada je reč o snabdevanju vodom iz distribucionih
sistema, problem predstavlja i sistem distribucije, od-
nosno stare, dotrajale cevi, kao i još uvek ponegde pri-
sutne azbestne cevi za koje je utvrđeno kancerogeno
dejstvo. U vodovodskim vodama više su vrednosti Cu,
Fe, Zn i Pb u odnosu na flaširane vode, kao posledica
kontakta sa cevima. Tokom 2007. godine zabeležena je
fizičko-hemijska neispravnost 20% vodovodskih voda
[34].

S obzirom na to da voda pre isporuke potrošaču
prolazi kroz tretman prečišćavanja i dezinfekcije, naj-
češće hlorisanjem, postavlja se pitanje kakav je uticaj
hlorisanja vode na zdravlje ljudi, kako tim postupkom
može doći do hemijskih reakcija i stvaranja sporednih
proizvoda hlorisanja. Takođe, prilikom flokulacije mogu
zaostati u vodi Al i Fe, pri čemu povećana koncentracija
Al ima niz neželjenih efekata (na funkciju nervnog
sistema, metaboličke procese, itd.) [36].

ZAKLJUČAK

Hemijski sastav analiziranih flaširanih voda Srbije je
raznovrstan. Fizičke osobine i hemijski sastav vode pos-
ledice su geoloških i hidrogeoloških uslova sredine kroz
koju ona cirkuliše, i u kojoj se formira njen kvalitet. Ra-
zlika se najviše ispoljava u ukupnoj mineralizaciji, koja
je u rasponu 0,2 do 3,4 g/l. Na tržištu Srbije zastupljene
su i oligomineralne i mineralne vode, zatim gazirane (sa
dodatkom CO₂) i negazirane vode, a u pogledu katjona

prisutne su i Ca i Na i Mg vode. U odnosu na vrednost
makrokomponenti u meq% izdvojeno je 8 tipova flaši-
ranih voda, od kojih su najzastupljeniji HCO₃-Na i
HCO₃-Ca-Mg. Prisustvo pojedinih mikroelemenata kao
i povišene vrednosti nekih makrokomponentata, u od-
nosu na propisane vrednosti, može imati pozitivan efe-
kat na zdravlje. Međutim, s obzirom na polifiziološko
delovanje mineralnih voda, njihovo konzumiranje mora
biti kontrolisano, ukoliko se žele pozitivni efekti.

Za potrebe vodosnabdevanja, koriste se najvećim
delom podzemne vode, dok se manjim delom koriste
rečne vode i površinske akumulacije. Zahvatanje pod-
zemnih voda izradom bunara je ekonomski isplativije,
pa se površinske vode koriste jedino ako podzemne vo-
de ne obezbeđuju potrebne količine ili ako im je kvali-
tet narušen. Razdvajajući vode po dominantnim makro-
komponentama, izdvojeno je 10 tipova voda, što uka-
zuje na veliku raznolikost.

Prema standardima korišćenim u ovom radu, ispiti-
vane vode iz sistema za vodosnabdevanje uže Srbije
zadovoljavaju zahtevani kvalitet, pošto su vrednosti
svih ispitivanih parametara ispod limitiranih vrednosti.
Analizirane vode iz Zrenjanina i Sente, prvenstveno zbog
vrednosti As i B, premašuju MDK date po svim pravil-
nicima.

Zahvalnost

Želimo da izrazimo veliku zahvalnost radnoj grupi za
Geohemiju u okviru *EuroGeoSurveys* koji su nas pozvali
da učestvujemo u izradi *Geochemistry Atlas of Ground-
water: Bottled Water*. Posebno se zahvaljujemo Clemens
Raimannu i Manfredu Birkeu, glavnim rukovodiocima
projekta, istraživačima i analitičarima *Federal Institute
for Geosciences and Natural Resources* u Berlinu, kao i
Alecosu Demetriadesu, jednom od editora specijalnog
izdanja *Journal of Geochemical Exploration – Mineral
Waters of Europe*.

LITERATURA

- [1] <http://www.mineralwater.rs> od 05.05.2011.
- [2] <http://www.gfk.rs> od 05.05.2011.
- [3] <http://webzsu.stat.gov.rs/WebSite/Public/PageView.aspx?pKey=199> od 21.05.2011.
- [4] Vodoprivredna osnova Srbije, Institut za vodoprivredu
Jaroslav Černi, Beograd, 2001, str. 43 i 47.
- [5] Sl. list SRJ br.42/98 i 44/99: Pravilnik o higijenskoj
ispravnosti vode za piće.
- [6] Sl. list SCG br. 53/05: Pravilnik o kvalitetu i drugim
zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku
vodu i stonu vodu.
- [7] EU Directive 98/83/EC, 1998. Council Directive of 3 No-
vember 1998 on the quality of water intended for hu-
man consumption. Official Journal of the European
Union L330/32 5/12/1998.
- [8] EU Directive 2003/40/EC, 2003. Council Directive of 16
May 2003 establishing the list, concentration limits and

- labeling requirements for the constituents of natural mineral waters and the conditions for using ozone-enriched air for the treatment of natural mineral.
- [9] EU Directive 2009/54/EC of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on the exploitation and marketing of natural mineral waters. Official Journal of the European Union L164/45 26/06/2009.
- [10] WHO, 2006: Guidelines for drinking-water quality. First Addendum to Third Edition Vol. 1 Recommendation, Geneva, Switzerland, p. 595.
- [11] M. Birke, C. Reimann, A. Demetriades, U. Rauch, H. Lorenz, B. Harazim and W. Glatte Determination of major and trace elements in European bottled mineral water – analytical methods, in *Mineral Waters of Europe, Special Issue, J. Geochem. Explor.* **107** (3) (2010) 217–226.
- [12] T. Petrović, M. Zlokolica Mandić, N. Veljković, D. Vidojević, Hydrogeological conditions for the forming and quality of mineral waters in Serbia, In *Mineral Waters of Europe. Special Issue, J. Geochem. Explor.* **107** (2010) 373–381.
- [13] C. Raimann, M. Birke, *Geochemistry of European Bottled Water*, Borntraeger Science Publisher, Stuttgart, 2010.
- [14] F. D'Amore, G. Scandiffio, C. Panichi, Some observations on the chemical classification of groundwaters, *Geothermics* **12** (2/3) (1983) 141–148.
- [15] M. Milivojević, M. Perić, Studija: Geotermalna potencijalnost teritorije SR Srbije van teritorija SAP, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd, 1990.
- [16] A. Dangić, P. Rakočević, Mineralna voda sa neubičajno visokim sadržajem bora, basen Kremana u Zapadnoj Srbiji, Jugoslavija, *Radovi Geoinstituta*, knjiga **28** (1993) 107–112.
- [17] E. Rosenberg, Germanium: environmental occurrence, importance and speciation, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* **8** (2009) 29–57.
- [18] L.R. Bernstein, Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochim. Cosmochim. Acta* **49** (1985) 2409–2422.
- [19] A. Dangić, D. Protić, *Geohemija mineralnih i termalnih voda Srbije: sadržaji i raspodela fluora*, Radovi Geoinstituta, knjiga 31, 1995, str. 315–323.
- [20] G.T. Chae, S.T. Yun, B. Mayer, K.H. Kim, S.Y. Kim, J.S. Kwon, K. Kim, Y.K. Koh, Fluorine geochemistry in bedrock groundwater of South Korea. *Sci. Total Environ.* **385** (2007) 272–283.
- [21] M. Burazer, Izveštaj o elektromagnetnom sondiranju u području Bujanovačke magnetne anomalije, NIS-Naftagas, Novi Sad, 1993.
- [22] T. Petrović, Termalne vode tercijarnih magmatita jugoistočne Srbije. Magistarska teza, Rudarsko–geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- [23] P. Frattini, Thallium properties and behaviour - A Literature Study, Geological Survey of Finland, 2005.
- [24] V. Jović, Thallium in rocks, soils, plants: past progress and future needs, *N. Jb. Miner. Abh.* **166** (1993) 43–52.
- [25] D. Srećković Batočanin, N. Vasković, V. Matović, S. Erić, Relics of the Ocean Crust at the Fruška Gora Mountain Gabbros and Basalts in the Jazak Locality. Proceedings 15th Congress of the Geologist of Serbia, Belgrade, 2010, pp. 25–36.
- [26] B. Dalmacija, Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda AP Vojvodina, Pokrajinski sekretariat za nauku i tehnološki razvoj, Novi Sad, 2009.
- [27] Z. Stevanović, Hidrogeologija karsta Karpato-balkanida istočne Srbije i mogućnosti vodosnabdevanja, Monografija, Institut za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1991.
- [28] http://www.bvk.rs/o_vodovodu.htm od 13.07.2011.
- [29] <http://www.vodovodle.rs/> od 20.07.2011.
- [30] <http://www.vodovod-ue.co.rs/glavni.html> od 11.07.2011.
- [31] D. Mihajlović, Hidrogeološke karakteristike područja opštine Veliko Gradište sa posebnim osvrtom na vodosnabdevanje naselja, Diplomski rad, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd, 1997.
- [32] R. Pantić, Hidrogeologija aluvijalnih sedimenata Binačke Morave u zoni Bujanovca. Diplomski rad, Rudarsko–geološki fakultet, Beograd, 2004.
- [33] M. Zlokolica Mandić, B. Radoičić, M. Koščal, Vodosnabdevanje Bujanovca sa okolinom i mogućnosti proširenja izvorišta, Geozavod, Beograd, 2004
- [34] <http://www.well.org.rs/index.php/pijaca-voda?start=5> od 06.05.2011.
- [35] D. Cicchella, S. Albanese, B. De Vivo, E. Dinelli, L. Giaccio, A. Lim, and P. Valera, Trace elements and ions in Italian bottles mineral waters: Identification of anomalous values and human health related effects. In M. Birke, A. Demetriades, and B. De Vivo (Guest Eds.), *Mineral Waters of Europe, Special Issue, J. Geochem. Explor.* **107** (3) (2010) 336–349.
- [36] B. Dalmacija, J. Agbaba, Kontrola kvaliteta vode za piće, PMF, Departman za hemiju, Novi Sad, 2006.
- [37] <http://prirodnilek.com/kalijum> od 08.05.2011.
- [38] M.C. Laker, C. D.Beyers, S.J. Van Rensburg, M. Hensley, Environmental associations with oesophageal cancer: an integrated model. In: Proceedings 10th national congress of soil science society of South Africa, Technical Communication no 180, Department of Agriculture, Pretoria, 1981.
- [39] C Yazbeck, W. Kloppmann, R. Cottier, J. Sahuquillo, G. Debotte, G. Huel, Health impact evaluation of boron in drinking water: a geographical risk assessment in northern France. *Environ. Geochem. Health* **27** (2005) 419–427.
- [40] I.C.H. Hall, S.Y. Chen, K.G. Rajendran, A. Sood, B. F. Spiel Vogel, J. Shih, Hypolipemic, anti-obesity, anti-inflammatory, anti-osteoporotic, and anti-neoplastic properties of amine carboxyboranes. *Environ. Health. Perspect.* **102** (Suppl. 7) (1994) 73–77.
- [41] S.L. Mecham, L.J. Taper, S.L. Volpe, Effect of boron supplementation on blood and urinary calcium, magnesium, and phosphorus, and urinary boron in athletic and sedentary women. *Am. J. Clin. Nutr.* **61** (1995) 341–345.
- [42] C.D. Hunt, J.L. Herbel, F.H. Nielsen, Metabolic responses of postmenopausal woman to supplemental dietary boron and aluminum during usual and low magnesium intake: boron, calcium, and magnesium absorption and retention and blood mineral concentrations. *Am. J. Clin. Nutr.* **65** (1997) 1–11.

- [43] J.H. Wilson, P.L. Ruzler, Long term effects of boron on layer bone strength and production parameters. *Brit. Poultry Sci.* **39** (1998) 11–15.
- [44] <http://www.atomskabanjagornjatrepc.rs/osobine-i-sastav-vode.html> od 21.05.2011.
- [45] I. Omae, *Applications of organometallic compounds*. Wiley, Chichester, 1999, pp. 165–184.
- [46] P.C. D'Haese, L.V. Lamberts, M.E. De Broe, Silicon, In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoepler, M. (Eds.), *Elements and their compounds in the environment*, 2nd ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, vol. 3, 2004, pp. 1273–1284.
- [47] A. Misund, B. Frengstad, U. Siewers, C. Reimann, Variation of 66 elements in European bottled mineral waters, *Sci. Total Environ.* **243/244** (1999) 21–41.
- [48] <http://www.ep.gov/safewater/contaminants/basicinformation/thallium.html> od 21.05.2011.
- [49] <http://www.ep.gov/safewater/arsenic/index.html> od 22.05.2011.
- [50] T. Harter, *Groundwater Quality and Groundwater Pollution*, ANR Publication 8084, http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/Harter_FWQFS_8084.pdf (July 2011).

SUMMARY

MACRO- AND MICRO-ELEMENTS IN BOTTLED AND TAP WATERS OF SERBIA

Tanja M. Petrović¹, Milena Zlokolica Mandić¹, Nebojša Veljković², Petar J. Papić³, Maja M. Poznanović¹, Jana S. Stojković³, Sava M. Magazinović³

¹*Geological Institute of Serbia, Belgrade, Serbia*

²*Serbian Agency for Environmental Protection, Belgrade, Serbia*

³*Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

(Scientific paper)

Comparative analysis between bottled and tap waters as well as its comparison with current Serbian regulations, European Union Directives and World Health Organization standard are shown in this paper. Thirteen bottled waters and fourteen tap waters from the territory of Serbia were analyzed in the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) laboratory in Berlin, for the purpose of the “Geochemistry of European Bottled Water” project conducted by EuroGeo Survey Geochemistry (EGS). Macrocomponents (main cations and anions) of ground waters usually reflect on lithochemistry of the aquifer, while microcomponents indicate the circulation of ground water through the different lithological environment. Analyzed bottled waters could be classified as those with low mineral content ($M < 500$ mg/l) if HCO_3^- anion and Ca and Mg cations were the prevailing ones, or mineral ($M > 500$ mg/l) with prevailing HCO_3^- and Na^+ . Waters with low mineral content were mainly from limestone and dolomite, while mineral waters mainly originated from magmatic and metamorphic rocks. Higher content of Cs, Li, Ge, Rb and F in bottled waters indicates the importance of the magmatic intrusions influence on their chemical composition. In some waters higher content of B, I, NH_4^+ , as well as of Tl and W has been observed which can be attributed to water’s circulation through different lithological complexes. Tap water was mostly obtained from groundwater (from Neogen and alluvial aquifers and karst springs) with rest being those of rivers and surface accumulations. Tap waters from Central Serbia were with low mineral content, with prevailing HCO_3^- and Ca and Mg cations, while waters from Vojvodina, the northern province of Serbia, were with higher mineralization, HCO_3^- -Na. Chemical analyses of the sampled tap waters showed good quality, with exception of waters from the cities of Senta and Zrenjanin in Vojvodina. High values of B (1170 and 895 $\mu\text{g/l}$), As (20.9 and 71.9 $\mu\text{g/l}$), Na (208 and 275 mg/l), as well as EC (715 and 928 $\mu\text{S/cm}$) have been registered in these waters.

Keywords: Bottled water • Tap water • Trace elements • Water classification