

## ANALIZA SADRŽAJA MAKRO- I MIKROELEMENTATA U VODI ZA PIĆE IZ VODOVODNE MREŽE GRADA POŽAREVCA

Miloš B. Rajković<sup>1\*</sup>, Mirjana D. Stojanović<sup>2</sup>, Slađana R. Milojković<sup>3</sup>,  
Aleksandar P. Đorđević<sup>1</sup> i Lazar M. Kaluđerović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet,  
Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Srbija

<sup>2</sup>Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS),  
Franše d'Eperea 86, Beograd, Srbija

<sup>3</sup>Poljoprivredna škola sa domom učenika „Sonja Marinković”,  
Ilije Birčanina 70, Požarevac, Srbija

**Sažetak:** Predmet ispitivanja bila je voda za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca, sa aspekta fizičko-hemijske i mikrobiološke ispravnosti i prisustva makro- i mikroelemenata. Ispitivanja su ukazala na povećanu koncentraciju Ca u vodi za piće kao posledica položaja Požarevca na sedimentu rečne terase akumulativnog karaktera t1, koja je pretežno sagrađena od *kvarcita*. Kao posledica povećane koncentracije Ca, voda iz vodovodne mreže je alkalnog karaktera („kalcijumova”, „biokarbonatna voda”) i veoma tvrda. Osim Ca, K i Al prevazilaze maksimalno dozvoljene koncentracije, dok se Pb i Cd nalaze na samoj granici. Proračunati podaci pokazuju rizik od unošenja elemenata koji se u vodi iz vodovodne mreže Grada Požarevca nalaze u vrednosti višoj od dozvoljene pravilnikom, ni za jedan metal ne postoji kratkoročni zdravstveni rizik po zdravlje ljudi. Analiza podataka o dugoročnom zdravstvenom riziku ukazuje da jedina realna opasnost postoji od prisustva Cd u vodi za piće. Rizik od pojave kancera prisutan je kod 202 stanovnika od 1000 stanovnika koji koriste ovu vodu za piće.

**Ključne reči:** voda za piće, kamenac, kalcijum, teški metali, Požarevac.

### Uvod

Voda iz javnih vodovoda koristi se u različite svrhe: za piće, pripremu hrane, održavanje lične higijene i za druge potrebe u domaćinstvima, zatim za komunalne i industrijske potrebe i dr. Potrošnja vode za piće i pripremu hrane je mala u odnosu na ostale potrebe, ali to je voda za koju se mora obezbediti najbolji kvalitet, izuzimajući neke industrije koje zahtevaju isti takav kvalitet ili čak i bolji od njege.

---

\* Autor za kontakt: e-mail: rajmi@agrif.bg.ac.rs

Međutim, brojnost potrošača vode za piće i moguć uticaj na njihovo zdravlje jesu razlozi zbog kojih se moraju postavljati uslovi za kvalitet vode u vodovodu u odnosu na zdravstvene efekte (Milojević, 2001).

Na području Grada Požarevca postoje tri načina vodosnabdevanja stanovništva (Rajković et al., 2015): 1. Centralno vodovodsko snabdevanje u gradovima Požarevac i Kostolac (od 1980. godine) i seoskim naseljima Ćirikovac, Knenovik, Stari Kostolac, Drmno i Brodarac (seoski vodovod koje Vodovod održava); 2. Snabdevanje iz lokalnih vodnih objekata (javne česme), i 3. Individualno snabdevanje iz sopstvenih bunara u ostalim naseljima.

O prečišćavanju i distribuciji vode u Požarevcu brine se JKP „Vodovod i kanalizacija”, Požarevac (od 1961. godine), a u okviru ovog preduzeća sektor Vodovod. Delatnosti sektora Vodovod su distribucija (merenje i registrovanje isporučene količina) vode od izvorišta do potrošača i proizvodnja vode, kao i kontrola kvaliteta vode: fizičko-hemijska i mikrobiološka analiza, kao i adekvatan izbor parametara kvaliteta (WHO, 2011; Rekalić, 1998). Vodovod se stara i o ispiranju vodovodne mreže, izradi i sprovođenju planova vodosnabdevanja, a sistem vodovoda eksploatiše u optimalnom režimu vodeći računa o gubicima.

Fizičko-hemijska i mikrobiološka ispravnost vode za piće u vodovodnoj mreži koja se isporučuje potrošačima redovno se ispituje i prati, dok se periodično ispituje i sadržaj toksičnih elemenata. Sadržaj teških (i toksičnih) metala nije parametar koji se određuje u vodi za piće, jer se teški metali nalaze u veoma niskim koncentracijama za koje se smatra da nemaju (negativan) uticaj na korisnike.

U vodi za piće nalaze se mnogobrojne neorganske supstance koje doprinose tvrdoći vode i utiču na njen kvalitet i higijensku ispravnost (Rajković, 2003). Postojeće metode za ispitivanje sadržaja (ili tragova) metala ne mogu detektovati prisustvo metala u niskim koncentracijama u vodi za piće, pa je zbog toga predložena nova metoda određivanja sadržaja metala koja je pokazala svoju potpunu primenljivost (Rajković et al., 2008a; Rajković et al., 2008b; Rajković et al., 2009). Suština metode je da se za ispitivanje kvaliteta vode iz vodovodne mreže koristi depozit (*kamenac*, suvi ostatak) koji se izdvaja na grejaču kućnog bojlera prilikom zagrevanja vode, a koji nastaje taloženjem neorganskih nevolatilnih supstanci koje se nalaze u vodi za piće. Pošto sastav kamenca potiče od prisutnih neorganskih jedinjenja u vodi, ovom metodom je moguće da se pouzdano, određivanjem elementarnog sastava kamenca, a zatim preračunavanjem na sadržaj u vodi odrede masene koncentracije metala koji se nalaze u vodi za piće.

Cilj ovoga rada bio je da se metoda indirektnog određivanja elemenata upotrebi za procenjivanje kvaliteta vode za piće sa aspekta sadržaja makro- i mikroelemenata tokom upotrebe vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca, u periodu 2012–2017. godine.

### Materijal i metode

Uzorkovanje, metode ispitivanja i tumačenje rezultata urađeni su u skladu sa Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Rajković et al., 2008b; Sl.list SRJ br. 42/98 i 44/99; Sl.list SCG br. 53/05; Rajković, 2010). Uziman je zahvaćen uzorak vode u plastične boce, pri čemu uzorci nisu konzervirani (Rajković et al., 2012). Na samom mestu uzorkovanja merena je temperatura i provodljivost uzoraka vode (Sl.list SRJ br. 42/98). Radila se fizičko-hemijska analiza vode koja obuhvata sledeće parametre: miris, boju, pH vrednost, utrošak  $\text{KMnO}_4$ , mutnoću, nitrite, nitrate, amonijak, hloride, elektroprovodljivost, kao i mikrobiološka analiza (Rajaković-Ognjanović, 2016).

Analitičke metode i granica detekcije za sve ispitivane parametre prikazane su u tabeli 1 (EPA, 2015).

Tabela 1. Analitičke metode primenjene u radu i njihova granica detekcije.  
*Table 1. Analytical methods used in the paper and their detection limit.*

Pokazatelj <i>Parameter unit</i>	Merna jedinica <i>Measurement unit</i>	Analitička metoda <i>Analytical methods</i>	Granica detekcije <i>Detection limit</i>	MDK vrednost <i>Maximum acceptable concentration (MAC)</i>
Amonijak	mg/dm <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	spektrofotometrijski sa Neslerovim reagensom		0,50
Boja	Pt/Co skale	spektrofotometrijski: kolorimetrijski pomoću Pt/Co skale	-	20
Elektroprovodljivost	μS/cm na 20°C	konduktometrijski	-	2500
Hloridi, kao Cl <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	jon-selektivna elektroda (ISE)	0,01	250
Kolimorfne bakterije	broj/100 cm <sup>3</sup>			0
pH vrednost	-	potenciometrijski, ISE, pH-metar CONSORT C830	-	6,50–8,00
Miris	-	organoleptički	-	bez
Mutnoća	NTU jedinica	metoda A: turbidimetrijski sa silikatnom zemljom metoda B: nefelometrijski prema standardnom formazinskom polimeru	-	4
Oksidativnost	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	potrošnja $\text{KMnO}_4$ , titracijom prema Kubel- Tijemanu		do 8 mg/dm <sup>3</sup>
Ukus	-	organoleptički	-	bez
Nitrati, kao NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	jonska hromatografija (IC)	0,01	0,5
Nitriti, kao NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	jonska hromatografija (IC)	0,01	0,005
Arsen, kao As	mg/dm <sup>3</sup>	AAS hidridna tehnika	0,01	0,01
metali: Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr	mg/dm <sup>3</sup>	atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS)	0,01	0,01
Temperatura vode	°C	živin termometar		
Mineralizacija (ili suvi ostatak na 180°C) je ukupni maseni sadržaj svih prisutnih materija u vodi.	g/dm <sup>3</sup>	Na analitičkoj vagi se izmeri čaša iz koje će uparavati uzorak. Uparavanje 100 cm <sup>3</sup> uzorka se vrši na vodenom kupatilu do suva. Potom se ostatak u čaši suši 8h u sušnici na 180°C. Čaša se hladi i meri.		

Depozit (*kamenac*, suvi ostatak) koji je ispitivan u radu nastao je iz vode koja se nalazi u vodovodnoj mreži Grada Požarevca (44°36'33" N, 21°10'34" E), tokom vremenskog perioda od 2012. do 2017. godine.

*Kamenac* dobijen je tako što je 1 dm<sup>3</sup> vode za piće (sakupljene na mesečnom nivou) zagrevan do ključanja i uparavan do suva. Sastav tako dobijenog kamenca određen je upotrebom atomskog apsorpcionog spektrofotometra Perkin Elmer *AAAnalyst 300 Atomic Absorption Spectrometer*, prema standardu SRPS B.B8.070:1970 (dopunjen sa SRPS B.B8.070:1982) (Rajković et al., 2004; Rajković et al., 2008a; Rajković et al., 2009).

Na osnovu sadržaja elemenata u kamencu, koji je dobijen iz vode iz vodovodne mreže Grada Požarevca, izvršen je proračun njihove koncentracije u vodi za piće.

## Rezultati i diskusija

### Geološka karta Grada Požarevca

Na slici 1 prikazana je geološka karta i legenda Grada Požarevca (Rakić, 1984; Jelenković, 1999). Kao što se može videti sa slike 1, Grad Požarevac leži na sedimentima rečne terase t1, a desno su stene pontske serije (Rakić, 1984; Jelenković, 1999).

Formiranje **niže rečne terase (t1)** započelo je najverovatnije krajem najmlađeg pleistocena, a glavno formiranje je izvršeno u toku starijeg holocena. Terasa je akumulativnog karaktera i izgrađena je od dva dela. U donjem delu nalaze se peskoviti šljunkovi i šljunkoviti peskovi sa valucima veličine i do 5 cm u prečniku. Petrografska proučavanja utvrdila su pretežno prisustvo *kvarcita* i *rožnaca*. Među mineralima teške frakcije preovlađuju metalični minerali (22–50%), zatim amfiboli (14–26%) i granati (oko 14%), dok su ostali zastupljeni sasvim malo. Kod lake frakcije najčešći su kvarc, feldspat i alterisana mineralna zrna.

Gornji deo terase predstavljen je povodanjskom facijom koja je sastavljena od alevritskih peskova, peskovito-glinovitih alevrita i peskovitih glina. Imaju istu mineralnu asocijaciju kao i sedimenti facije korita. Na površini terase, mestimično uz njen obod, javljaju se **lesoidni sedimenti** kao produkti deluvijalnih spiranja kopnenih lesova na obodu doline. Debljina terase je različita: na potezu Žabari – Donja Livadica iznosi oko 12 m, a nizvodno od Goloboka i Poljane ona se naglo povećava i iznosi oko 35 m.

Tvorevine **PONTA (P11)** otkrivene su na severnom delu Požarevačke grede, na ukupnoj površini oko 15 km<sup>2</sup>. Leže preko panonskih sedimenata, iz kojih se postepeno i razvijaju. Osnovni sastav ponta čine: peskovi, peskovite i ugljevite gline, retkih proslojaka peščara i ugljeva. Najzastupljeniji su srednjezrni i sitnozrni,



Sedimenti ponta blago tonu u pravcu SSZ gde ih u dolini Velike Morave pokrivaju debele fluvijalne akumulacije. Padni uglovi se kreću u granicama od 2 do 8 stepeni. Istražnim bušenjima utvrđeno je prisustvo pontijskih sedimenata i istočno od Požarevačke grede, u dolini reke Mlave. Debljina pontijskih sedimenata iznosi oko 150 m. Ovi sedimenti predstavljaju podinsku seriju glavnom, trećem ugljenom sloju „kostolačke produktivne serije”. Sadrže, pored karakteristične ostrakodske vrste, i bogat palinološki spektar karakterističan za donji pliocen.

#### Rezultati ispitivanja vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca

U tabeli 2 prikazani su rezultati fizičko-hemijskog ispitivanja, a u tabeli 3 mikrobiološkog ispitivanja vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca.

#### Proračunate koncentracije elemenata u vodi za piće

Rezultati ispitivanja kamenca nastalog u periodu 2012–2017. godine, dobijenog iz vode koja se nalazi u vodovodnom sistemu Grada Požarevca prikazani su u tabeli 4. Na osnovu rezultata ispitivanja kamenca, proračunate su koncentracije elemenata u vodi za piće i upoređene sa pravilnikom Republike Srbije i standardom EU i WHO, što je prikazano u tabeli 5.

U pravilnicima nije definisana maksimalno dozvoljena količina za  $\text{HCO}_3^-$ , budući da nije utvrđen negativni uticaj na zdravlje čoveka.

Tabela 2. Rezultati fizičko-hemijskog ispitivanja vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca.

*Table 2. Results of the physical and chemical analysis of drinking water from the Požarevac city public water supply.*

Broj uzorka Number of samples	Miris Smell	Ukus Taste	Mutnoća Turbidity	Boja Colour	pH vrednost pH value	Nitriti Nitrites	Nitriti Nitrites	Amonijak Ammonia	Hloridi Chlorides	Utrošak KMnO4 Consumption of KMnO4	Elektroprovodljivost Electroconductivity
MDK (MAC)	-	-	NTU	Co-Pt	-	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	μS
	bez	bez	5	5	6,8–8,5	50,0	0,03	1,0	200,0	8,0	do 1000
uzorak 1 sample 1	bez	-	<0,10	<5	7,18	44,60	<0,005	<0,050	22,70	1,93	861
uzorak 2 sample 2	bez	-	<0,10	<5	7,20	44,80	<0,005	<0,050	27,10	2,18	866

Tabela 3. Rezultati mikrobiološkog ispitivanja vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca.

Table 3. Results of microbiological analysis of drinking water from the Požarevac city public water supply.

Parametar Parameter	Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u 1cm <sup>3</sup> vode Total number of aerobic mesophilic bacteria in 1 cm <sup>3</sup> of water	Ukupne koliformne bakterije u 100 cm <sup>3</sup> vode Total coliform bacteria in 100 cm <sup>3</sup> of water	Koliformne bakterije fekalnog porekla Coliform bacteria of faecal origin	Streptokoke fekalnog porekla u 100 cm <sup>3</sup> vode Faecal streptococci in 100 cm <sup>3</sup> of water	Proteus vrste u 100 cm <sup>3</sup> vode Proteus species in 100 cm <sup>3</sup> of water	Pseudomonas aeruginosa u 100 cm <sup>3</sup> vode Pseudomonas aeruginosa in 100 cm <sup>3</sup> of water	Sulfidoredukujuće klostridije u 100 cm <sup>3</sup> vode Sulfidoreduced clostridia in 100 cm <sup>3</sup> of water
MDK (MAC)	100	10	0	0	0	0	0
uzorak 1 sample 1	<1	<1	<1	-	-	-	<1
uzorak 2 sample 2	<1	<1	<1	-	-	-	<1

Na osnovu podataka iz tabele 4, može se zaključiti sledeće: proračunata pH vrednost za piće veoma je visoka (9,07) i prevazilazi vrednosti predviđene našim pravilnicima (Sl.list SRJ br. 42/98 i 44/99; Sl.list SCG br. 53/05). Podaci o sadržaju kalcijuma u vodi za piće ukazuju da se radi o alkalnoj vodi (što je vidljivo i iz pH vrednosti). Sadržaj Ca<sup>2+</sup>: 245,86 mg/dm<sup>3</sup> govori da se radi o „kalcijumovoj vodi” (za vrednosti Ca<sup>2+</sup> >150 mg/dm<sup>3</sup>), dok sadržaj HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 994,24 mg/dm<sup>3</sup> govori da se radi o „bikarbonatnoj vodi” (za vrednosti HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> >600 mg/dm<sup>3</sup>) (Petrović et al., 2012).

Rezultati dobijeni preračunavanjem masene koncentracije u vodi za piće na osnovu sastava u kamencu pokazali su da ispitivana vode pripada kategoriji vode: vrlo tvrde (u vodi se nalazi 613,92 mg/dm<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>). Takođe, na osnovu tvrdoće vode (stara oznaka tvrdoće vode u nemačkim stepenima tvrdoće, °D) od 34,4, voda pripada kategoriji vrlo tvrde vode (>30°D) (Rajković, 2007).

Podaci o mineralizaciji, prikazani u tabeli 5, govore da se radi o malomineralnoj vodi, odnosno o vodi do 1 g/dm<sup>3</sup>, koje se zahvataju pretežno iz karbonatnih stena – krečnjaka (CaCO<sub>3</sub>) i dolomita (MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>). Podatak o elektroprovodljivosti (tabela 3) govori da je voda za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca bogata rastvorenim materijama (što odgovara podacima iz tabele 5).

Tabela 4. Koncentracija makro- i mikroelemenata u vodi za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca upoređene sa pravilnikom Republike Srbije i standardima SZO i EU.

*Table 4. Concentrations of macro- and microelements in drinking water from the Požarevac city public water supply compared to the Rulebook of the Republic of Serbia, and WHO and EU Standards.*

Parametar <i>Parameter</i>	Pronađeno u kamencu <i>Scale sample (% by mass)</i>	Izračunata masena koncentracija u vodovodnoj mreži Grada Požarevca <i>Calculated mass concentration in drinking water from the Požarevac city public water supply</i>	Jedinica <i>Unit</i>	Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće <i>Rulebook on hygienic quality of drinking water</i> (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99)	
				MDK za parametre u vodi za vodosnabdevanje <i>MAC for parameters in water for water supply</i>	MDK za parametre u oligomineralnoj flaširanoj vodi <i>MAC for parameters in oligomineral bottled water</i>
Kalcijum	53,17%, kao CaO	<b>245,86</b>	mg/dm <sup>3</sup>	200	100
Magnezijum	1,87%, kao MgO	7,30	mg/dm <sup>3</sup>	50	30
Ca/Mg		33,68		3–4	
Natrijum	0,017%, kao Na <sub>2</sub> O	0,082	mg/dm <sup>3</sup>	150	20
Kalijum	0,0031%, kao K <sub>2</sub> O	0,017	mg/dm <sup>3</sup>	12	10
Gvožđe	0,042%, kao Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	190	µg/dm <sup>3</sup>	300	50
Silicijum	0,92%, kao SiO <sub>2</sub>	<b>2,78</b>	mg/dm <sup>3</sup>	–	–
Aluminijum	0,16%, kao Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>540</b>	µg/dm <sup>3</sup>	200	0,05
Titan	<0,003%, kao TiO <sub>2</sub>	<b>11,63</b>	µg/dm <sup>3</sup>	–	–
Mangan	16,99 ppm	10,99	µg/dm <sup>3</sup>	50	20
Olovo	14,99 ppm	<b>9,70</b>	µg/dm <sup>3</sup>	10	–
Kobalt	15,49 ppm	<b>10,02</b>	µg/dm <sup>3</sup>	0	0
Cink	219,88 ppm	142,26	µg/dm <sup>3</sup>	3.000	100
Bakar	103,44 ppm	66,93	µg/dm <sup>3</sup>	2.000	100
Nikal	14,99 ppm	9,70	µg/dm <sup>3</sup>	20	10
Kadmijum	4,50 ppm	<b>2,91</b>	µg/dm <sup>3</sup>	3	5
Cr (ukupni)	3,5 ppm	2,26	µg/dm <sup>3</sup>	50	50
Gubitak žarenjem	43,77%				
H <sub>2</sub> O	0,95%				
Σ	99,99%	263,17		255,80	130,42
Suvi ostatak		647	mg/dm <sup>3</sup>		
HCO <sub>3</sub>		994,24	mg/dm <sup>3</sup>	–	–
pH		<b>9,07</b>		6,80–8,50	6,80–8,50



Tabela 4. Nastavak.  
Table 4. Continued.

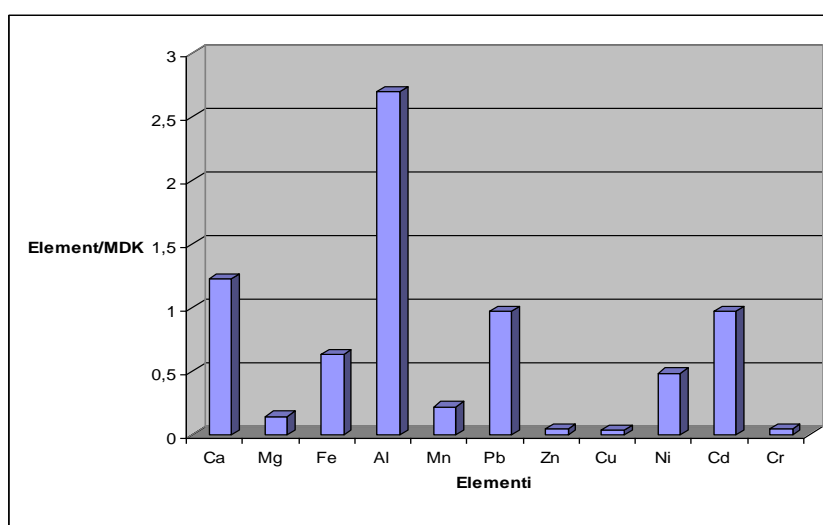
Pravilnik o kvalitetu i dr., zahtevima za prirodnu mineralnu, izvorsku i stonu vodu <i>Rulebook on quality, etc., requirements for natural mineral, spring and table water</i> (Sl. list SCG br. 53/05)	Direktiva EU <i>EU Directive</i>			
	1998/83/EC Voda za piće <i>Drinking water</i>	2003/40/EC Mineralna voda <i>Mineral water</i>	2009/54/EC Prirodna mineralna voda <i>Natural mineral water</i>	SZO voda za piće <i>WHO drinking water</i>
150	-	-	<150	-
50	-	-	<50	50
200	200	-	<200	200
-	-	-	-	-
200	200	-	-	300
-	-	-	-	-
200	200	-	-	200
-	-	-	-	-
50	50	500	-	400
10	10	10	-	10
-	-	-	-	-
-	-	-	-	3.000
2.000	2.000	1000	-	2.000
20	20	20	-	70
3	5	3	-	-
50	50	50	-	50
202,73				
600	-	-	<600	-
-	≥6,50-≤9,50	-	-	-

Na osnovu geološke analize sastava zemljišta na teritoriji Grada Požarevca, može se objasniti prisustvo karbonata i Si u vodi za piće iz lesnih sedimenata, u kojima ima kalcita. Kvarciti i rožnaci su SiO<sub>2</sub> po hemijskom sastavu, što objašnjava prisustvo Si u vodi za piće.

#### Unos elemenata u čovekov organizam konzumiranjem vode za piće

Na osnovu podataka iz tabele 5, može se videti da je sadržaj pojedinih elemenata viši u odnosu na MDK vrednost koja je predviđena pravilnicima (Sl.list SRJ br. 42/98 i 44/99; Sl.list SCG br. 53/05), pa je zbog toga izračunavan odnos sadržaj elemenata u vodi za piće/MDK vrednost, što je grafički prikazano na slici 2.

Na osnovu podataka sa slike 2, može se videti da *zemnoalkalni element* Ca (245,86 prema 200 mg/dm<sup>3</sup>), *alkalni element* K (16,65 prema 12 mg/dm<sup>3</sup>), od predstavnika **s-elemenata**, i Ti (11,63 prema 0 µg/dm<sup>3</sup>) i Co (10,02 prema 0 µg/dm<sup>3</sup>), od predstavnika **d-elemenata**, svojim sadržajem prevazilaze vrednosti koje su dozvoljene pravilnicima (Sl.list SRJ br. 42/98 i 44/99; Sl.list SCG br. 53/05). Od predstavnika **p-elemenata**, Al značajno prevazilazi dozvoljenu vrednost (540 prema 200 µg/dm<sup>3</sup>) i Si (2,78 prema 0 mg/dm<sup>3</sup>). Takođe, kritične su i vrednosti za Cd i Pb, upravo zbog velike toksičnosti i kancerogenosti ovih elemenata, a čije su vrednosti svega 3% niže od dozvoljenih.



Slika 2. Sadržaj makro- i mikroelemenata koji se nalaze u vodi za piće u vodovodnoj mreži Grada Požarevca u poređenju sa dozvoljenim koncentracijama, saglasno Pravilnicima.

Figure 2. The contents of macro- and microelements in drinking water from the Požarevac city public water supply, compared to the allowed concentrations, according to the Rulebooks.

Iz tih razloga izvršena je analiza uticaja korišćenja vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca sa sadržajem makro- i mikroelemenata na zdravlje ljudi (tabela 4), konzumiranjem u dužem vremenskom intervalu.

Unos elemenata u čovekov organizam konzumiranjem vode za piće izračunat je na osnovu podataka da *zapremina jedne čaše* iznosi 200 cm<sup>3</sup> (0,2 dm<sup>3</sup>), a da *dnevni unos* pretpostavlja da čovek normalno unosi 10 čaša vode (2 dm<sup>3</sup> vode). Proračun je zasnovan na osnovu izračunatog sadržaja odgovarajućeg elementa na osnovu *suvođ ostatka*. *Mesečni unos* baziran je na 30 dana, a *godišnji unos* baziran je na 12 meseci (365 dana).

Unošenje elemenata (u mg) u čovekov organizam konzumiranjem vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou prikazano je u tabeli 5.

Podaci iz tabele 5 govore da je unos *zemnoalkalnih metala* u čovekov organizam tokom konzumiranja vode za piće na godišnjem nivou u ispitivanom vremenskom intervalu (u %) dominantan. Vodom za piće najviše se unose *zemnoalkalni metali* (182,28 g/dm<sup>3</sup> ili 96,02%), **više od 24 puta od svih ostalih elemenata zajedno**, što nedvosmisleno govori o velikoj tvrdoći vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca, što je zapaženo i prikazano u tabeli 4.

Tabela 5. Unošenje elemenata u čovekov organizam konzumiranjem vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou.

*Table 5. Daily, monthly and annual human intakes of elements from drinking water of the Požarevac city public water supply.*

Element <i>Element</i>	Trivijalni naziv grupe elemenata u PSE <i>The trivial name of the group of elements in PSE</i>	Unošenje elemenata u čovekov organizama konzumiranjem vode za piće <i>The intake of elements in human organism based on the consumption of drinking water</i>				Uneta masa elemenata *, u % <i>Mass of element intake, in %</i>
		1 čaša <i>One glass of water</i>	Dnevni unos <i>Daily intake</i>	Mesečni unos <i>Monthly intake</i>	Godišnji unos* <i>Annual intake</i>	
Na	<i>alkalni metali</i>	0,016 mg	0,16 mg	4,92 mg	59,04 mg	0,04
K		3,4 µg	0,03 mg	1,02 mg	12,24 mg	
Mg	<i>zemnoalkalni metali</i>	1,46 mg	14,6 mg	438 mg	5,26 g	96,0
Ca		49,17 mg	0,49 g	14,75 g	177,02 g	
Ti		2,33 µg	23,26 µg	697,8 µg	8,37 mg	
Cr (ukupni)		0,45 µg	4,52 µg	135,6 µg	1,63 mg	
Mn		2,2 µg	0,02 mg	0,66 mg	7,92 mg	
Fe		0,038 mg	0,38 mg	11,4 mg	0,14 g	
Co	<i>teški metali</i>	2 µg	20,04 µg	0,60 mg	7,21 mg	2,68
Ni		1,94 µg	19,4 µg	582 µg	6,98 mg	
Cu		1,34 mg	13,38 mg	401,4 µg	4,82 g	
Zn		0,03 mg	0,28 mg	8,4 mg	100,8 mg	
Cd		0,58 µg	5,82 µg	174,6 µg	2,08 mg	
Pb		1,94 µg	19,4 µg	0,58 mg	6,98 mg	
Al	<i>amfoterni metali</i>	0,11 mg	1,08 mg	32,4 mg	388,8 mg	≈ 0,21
Si	<i>polumetali</i>	0,56 mg	5,56 mg	166,8 mg	2,00 g	1,05
		Σ			189,83	≈ 100

\*Godišnji unos je proračunat na osnovu mesečnog unosa, budući da se od proračuna na godišnji unosu na osnovu dana razlikuju za 1,37%.

\**The annual intake is calculated on the basis of the monthly intake, as they differ by 1.37% from the annual intake based on the day.*

Podatak da je koncentracija Ca daleko iznad maksimalno dozvoljene koncentracije ( $\approx 1,23$  puta viša), ipak ne mora da bude alarmantan, jer se na taj način dnevno, preko vode, unosi 49,17 mg Ca (oko 0,05 g), što je daleko ispod preporučene dnevne potrebe za Ca od 0,5 g.

Pošto se tri elementa nalaze u koncentracijama koje su iznad MDK vrednosti: K, Ca i Al, u daljem tekstu prodiskutovaće se njihov uticaj na zdravlje ljudi.

U organizmu odraslog čoveka nalazi se 0,2% **kalijuma** (oko 250 g). K zadržava vodu u organizmu, reguliše osmotski pritisak, učestvuje u održavanju kiselo-bazne ravnoteže, i reguliše potencijal ćelijske membrane. K se prvenstveno nalazi unutar ćelije (95%), a u međućelijskoj tečnosti ga ima oko 5%. K, koji se nalazi u tečnosti izvan ćelija, utiče na aktivnost mišića srca, pa je uloga K zbog toga veoma značajna. Učestvuje u funkcionisanju niza enzima, a naročito je važan za metabolizam ugljenih hidrata, za građenje puferskih sistema, procesa pojačanog izlučivanja Na i dr. K se lako resorbuje, ali se i vrlo lako izlučuje iz organizma. MDK vrednost za K u vodi za piće je oko 10% od vrednosti za Na ( $12 \text{ mg/dm}^3$ ), jer se unosi u velikim količinama i hranom, pa se relativno lako zadovoljavaju potrebe čoveka koje iznose 2–4 g/dan.

U vodi za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca nađeno je  $\approx 1,4$  puta više, što može prouzrokovati tegobe kod konzumenata. Prekomerna količina K u krvi (*hiperkalijemija*) izaziva slabu podražljivost, a time i slabost srčanog i ostalih mišića u telu. A zbog slabosti rada srčanog mišića i neadekvatnog pumpanja krvi kroz pluća nastaje otežano disanje, gušenje vodom u plućima, i životna ugroženost. Mišićna slabost, paralize, mučnina i zamor samo su prateći fenomeni glavnih, tj. kardiovaskularnih poremećaja. Pri manjem porastu K srčani ritam se usporava, a pri većem postaje nepravilan i na kraju ekstremno brz, a srce slabo i neefikasno (Pizent and Butković, 2010).

**Kalcijum** se u organizmu čoveka nalazi u velikim količinama, 1,5–2% telesne mase čoveka, npr. čovek telesne mase od 70 kg sadrži 1,2 kg Ca, a od toga 99% se nalazi u skeletu, kostima i zubima (tzv. koštana masa) (oko 80% kalcijuma se nalazi u obliku  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , a 13% u obliku  $\text{CaCO}_3$ ), i u obliku hidroksiapatita (Rajković, 2002). Ostatak od 1% Ca nalazi se u telesnim tečnostima i mekim tkivima, delimično u obliku jona, delimično vezan za proteine (albumine).  $\text{Ca}^{2+}$ -jon ima važnu ulogu u koagulaciji krvi (u suprotnom bolest *hemofilija*), permeabilnosti ćelijskih membrana, osetljivosti srca, mišića i nerava. Ca takođe igra značajnu ulogu u kontrakciji mišića, otpuštanju hormona i osiguravanju pravilnog funkcionisanja mozga i živaca. Baš kao što je moguće patiti zbog nedostatka Ca u telu, tako je moguće susresti se i sa njegovim viškom (*hiperkalcemija*).

Resorbuje se samo 10–30% Ca iz hrane, a resorpcija se vrši u gornjim delovima crevnog trakta. MDK vrednost za Ca u vodi za piće je najveća i iznosi  $200 \text{ mg/dm}^3$  a uslovljena je pre svega vrstom vode, da li je tvrda ili meka, ali

stepen usvojenosti Ca od strane organizma zavisi od odnosa kalcijum:fosfor, koji mora biti 2:1, jer pri nižem odnosu fosfor vezuje Ca za sebe.

Osim preterane konzumacije Ca i sunčevog vitamina, do ovog stanja može doći usled preterane aktivnosti paratiroidne žlezde, raka i drugih bolesti. Najčešći simptom previše Ca je izuzetna letargija. Među ozbiljnije simptome *hiperkalcemije* spada nepravilan ritam otkucaja srca i vrlo nizak pritisak.

**Aluminijum** je sveprisutan u prirodi (najčešći metal u Zemljinoj kori) i prirodno se pojavljuje u većini prehrambenih namirnica i u vodi, a dnevna izloženost putem hrane je 3–10 mg. Al može reagovati sa niskim dozama fluora u vodi, dovodeći do toga da sve više Al prolazi krvno-moždanu barijeru stvarajući naslage u mozgu. Postoji veliki broj studija koje se tiču uticaja aluminijuma na zdravlje ljudi. Ove studije su odavno pokazale vezu između unošenja Al i neurološke demencije kod bubrežnih bolesnika, a studije novijeg datuma (iz poslednjih 10–15 godina, inače perioda kada se „zvanično” prestalo sa posmatranjem Al kao toksičnog) pokazuju njegov loš uticaj na ljudsko zdravlje, posebno naglašavajući njegovo učešće kod Alchajmerove bolesti, Parkinsonove bolesti i amiotropne lateralne skleroze (Lu Gerigova bolest), koje postaju uobičajene među starijim ljudima. Povišeni nivoi Al u mozgu nekih pacijenata od Alchajmerove bolesti su od nepoznate uzročno-posledične važnosti, pa je, radi zaključivanja povezanosti Al i Alchajmerove bolesti, potrebno dodatno istraživanje (Becaria, Campbell i Bondy, 2002).

#### Procena kratkoročnog i dugoročnog potencijalnog kancerogenog rizika

Na osnovu rezultata dobijenih ispitivanjem sadržaja mikrokomponenta u analiziranim uzorcima vode, može se uočiti da je u nekoliko uzoraka zabeležena povećana koncentracija pojedinih metala: Ca, K, Al, dok je kod Cd i Pb, ta vrednost jako blizu maksimalno dozvoljenim koncentracijama, u poređenju sa vrednostima propisanim Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (tabela 5).

Da bi se utvrdila (eventualna) opasnost od prisustva toksičnih elemenata u koncentracijama višim od vrednosti dozvoljene Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće, urađena je procena **kratkoročnog i dugoročnog potencijalno kancerogenog rizika** (Rajković, Stojanović i Milojković, 2017a).

#### Kratkoročni rizik

Unos toksičnih elemenata i rizik po zdravlje ljudi, koji je prouzrokovan konzumiranjem vode za piće, određeni su na nedeljnom nivou (**kratkoročni rizik**), preko *procenjenog nedeljnog unosa vode* (**PNU**) i *koeficijenta rizika* po zdravlje ljudi (**KR**).

Ovi koeficijenti određeni su na osnovu sledećih jednačina (Lin et al., 2015):

$$\mathbf{PNU} = \mathbf{KR} = \frac{\mathbf{PNU}}{\mathbf{TNU}}$$

gde je: **PPV** – prosečna potrošnja vode po stanovniku (2 dm<sup>3</sup> dnevno) (Papić et al., 2012), *c* – koncentracija elemenata u ispitivanim uzorcima vode izražena u µg/dm<sup>3</sup>, **PTM** – prosečna telesna masa stanovnika koja iznosi 75,65 kg (Pavlica et al., 2010), a **TNU** je tolerantni nedeljni unos toksičnih metala izražen kao µg/kg telesne mase.

Pri proceni kratkoročnog rizika po ljudsko zdravlje, smatra se da visok rizik postoji ukoliko je koeficijent rizika (**KR**) za neki element veći od 1 (Leung et al., 2008; Kostić et al., 2016).

Dugoročni, potencijalno kancerogeni, rizik po zdravlje ljudi

Osim kratkoročnog rizika, prouzrokovanog konzumiranjem vode sa povišenim sadržajem toksičnih elemenata, moguće je odrediti i **dugoročni, potencijalno kancerogeni, rizik po zdravlje ljudi** (Wu i Sun, 2015).

Kao parametri za procenu ovog tipa rizika, određeni su unos toksičnih elemenata oralnim putem (konzumiranjem vode za piće), **U<sub>oral</sub>**, kao i koeficijent rizika izazvan oralnim unosom toksičnih elemenata, **KR<sub>oral</sub>**, preko sledećih jednačina:

$$\mathbf{U}_{\text{oral}} = \frac{\mathbf{PPV} \cdot \mathbf{c} \cdot 365 \cdot 30}{\mathbf{PTM} \cdot 10950} \quad \mathbf{KR}_{\text{oral}} = \frac{\mathbf{U}_{\text{oral}}}{\mathbf{RfD}_{\text{oral}}}$$

gde je: **RfD<sub>oral</sub>** referentna vrednost za unos kancerogenih i potencijalno kancerogenih kontaminanata oralnim putem propisana od strane američke Agencije za zaštitu životne sredine (engl. *Environmental Protection Agency [EPA]* ili *USEPA*) (Momot i Synzynys, 2005; CHMP, 2008; Kostić et al., 2016), a skraćenice **PPV** i **PTM** su već objašnjene.

Procena kratkoročnog zdravstvenog rizika izražena preko tolerantnog nedeljnog unosa (**TNU**), procenjenog nedeljnog unosa (**PNU**) i koeficijenta rizika (**KR**) za potencijalno toksične metale prikazana je u tabeli 6. Pri proceni kratkoročnog rizika po ljudsko zdravlje smatra se da visok rizik postoji ukoliko je koeficijent rizika za neki element veći od 1 (WHO, 2011; Rajković et al., 2004; Kostić et al., 2016b; WHO, 1998; ATSDR, 1997).

Na osnovu podatka o gustini metala, prikazane u tabeli 6, u teške metale ubrajaju se: Cd, Cu, Pb i Fe (jer im je gustina > 5 g/cm<sup>3</sup>) (Rajković, 2002).

Na osnovu podataka za kratkoročni zdravstveni rizik i koeficijenata rizika za navedene elemente koji su pronađeni u povećanim koncentracijama, može se zaključiti da ni od jednog elementa ne pretili kratkoročni zdravstveni rizik, jer su sve vrednosti **KR** daleko ispod 1. S obzirom na to da za Ca ne postoji podatak o

vrednosti za tolerantni nedeljni unos (TNU), jer se ne smatra toksičnim metalom (a nije ni teški metal), nije izračunata vrednost za koeficijent rizika.

Tabela 6. Kratkoročni zdravstveni rizik izražen kroz tolerantni nedeljni unos (TNU), procenjeni nedeljni unos (PNU) i koeficijent rizika (KR) za toksične metale.

*Table 6. Short-term health risks expressed through tolerable weekly intake (TWI), estimated weekly intake (EWI) and risk coefficient (RC) for toxic metals.*

Element <i>Element</i>	Gustina <i>Density</i> (g/cm <sup>3</sup> )	Kratkoročni rizik <i>Short-term risk</i>		
		Tolerantni nedeljni unos (TNU) <i>Tolerable weekly intake</i> (TWI) (µg/kg)	Procenjeni nedeljni unos (PNU) <i>Estimated weekly intake</i> (EWI)	Koeficijent rizika (KR) <i>Risk coefficient</i> (RC)
Ca	1,55	–	–	–
Cd	8,65	7	0,539	0,077
Cu	8,96	3500	12,38	3,54·10 <sup>-3</sup> ili << 1
Pb	11,34	25	1,795	0,072
Fe	7,86	5600	35,16	6,28·10 <sup>-3</sup> ili << 1
Al	2,702	7000	99,93	0,014

Procena dugoročnog zdravstvenog rizika izražena kroz oralni unos (U<sub>oral</sub>), i koeficijenta rizika unosa (KR<sub>oral</sub>) za potencijalno toksične metale prikazana je u tabeli 7.

Tabela 7. Dugoročni zdravstveni rizik izražen kroz oralni unos (U<sub>oral</sub>) i koeficijent rizika unosa oralnim putem (KR<sub>oral</sub>) za odabrane toksične metale.

*Table 7. Long-term health risks expressed through oral intake (U<sub>oral</sub>) and risk coefficient of oral intake (KR<sub>oral</sub>) for selected toxic metals.*

Element <i>Element</i>	Dugoročni rizik <i>Long-term risk</i>		
	Referentna vrednost za unos oralnim putem <i>Reference value for oral intake</i> RfR <sub>oral</sub> (mg/dan/kg)	Oralni unos <i>Oral intake</i> (U <sub>oral</sub> )	Koeficijent rizika unosa oralnim putem <i>Risk coefficient of oral intake</i> (KR <sub>oral</sub> )
Cd	0,38	0,077	0,202
Cu	0,05	1,77·10 <sup>-3</sup>	0,035
Pb	0,0085	2,56·10 <sup>-4</sup>	0,030
Fe	– *	–	–
Al	– *	–	–

\*Ne postoji RfD<sub>oral</sub> za Fe i Al.

\*There is no information of RfD<sub>oral</sub> for Fe and Al.

Na osnovu rezultata dobijenih za dugoročni potencijalni rizik za pojavu i razvoj kancerogenih oboljenja, mogu se uočiti razlike za ispitivane metale, u zavisnosti od procenjenog unosa oralnim putem (RfD<sub>oral</sub>), kao i propisanih

referentnih vrednosti (ATSDR, 1997; EPA, 2009). U slučaju Fe i Al, nije moguće odrediti dugoročni rizik s obzirom na to da se ovi elementi ne nalaze na EPA listi potencijalno kancerogenih supstanci (ne postoji  $RfD_{oral}$  za Fe i Al), pošto nije potvrđeno postojanje kancerogenog rizika od strane EPA, a Al je klasifikovan kao GRAS (engl. *Generally Regarded As Safe*).

Analiza podataka o dugoročnom zdravstvenom riziku ukazuje da jedina realna opasnost postoji od prisustva Cd, Cu i Pb u vodi za piće. Analiza podataka pokazuje da je najmanji rizik od pojave kancera prisutan od Pb (kod 30 stanovnika od 1000 stanovnika) i Cu (kod 35 stanovnika od 1000 stanovnika) koji koriste ovu vodu za piće.

Realno najveći dugoročno zdravstveni rizik preti od prisustva Cd u vodi za piće: kod 202 stanovnika od 1000 stanovnika (svaki peti stanovnik). Kako je na osnovu naših istraživanja (Rajković, Stojanović, Milojković, 2017b) već utvrđena direktna povezanost prisustva toksičnih elemenata (Pb, Cd, Cr, Si, U) u vodi za piće i pojave porasta hroničnih nezaznih oboljenja, kao što je hronična bubrežna insuficijencija (HBI) i bolesti mokraćnog sistema sa 84,06%, naročito kod žena doba starosti preko 15 godina, koja je zabeležena u Braničevskom okrugu i čija stopa iznosi 126,3/1000 (Zavod za javno zdravlje Požarevac, 2012), ovaj rad i ove vrednosti za Cd su još jedna potvrda realne opasnosti koja postoji od njegovog prisustva u vodi za piće.

### Zaključak

U radu je ispitivan kamenac koji je nastao iz vodovodne mreže Grada Požarevca, tokom vremenskog perioda 2012–2017. godine. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

Fizičko-hemijska i mikrobiološka analiza uzoraka vode za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca u Braničevskom okrugu pokazala je da je voda kvaliteta pogodnog za humanu upotrebu i da odgovara kvalitetu preporučenom pravilnikom;

Prema količini suvog ostatka (do 1 g/dm<sup>3</sup>), voda se ubraja u malomineralne vode. Radi se o vodi koja se zahvata pretežno iz karbonatnih stena – *krečnjaka* (CaCO<sub>3</sub>) i *dolomita* (MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>);

Podatak o elektroprovodljivosti govori da je voda za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca bogata rastvorenim materijama;

Na osnovu sadržaja CaCO<sub>3</sub> u dm<sup>3</sup> od 613,92 mg/dm<sup>3</sup> voda za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca nalazi se u kategoriji *tvrde vode*. Na osnovu geološke analize sastava zemljišta na teritoriji Grada Požarevca, može se objasniti prisustvo karbonata i silicijuma u vodi za piće iz lesnih sedimenata, u kojima ima kalcita;

Od makroelemenata određen je sadržaj metala: Ca, Mg, Na i K. Sadržaj ovih elemenata je u skladu sa Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće, osim Ca čija je vrednost viša od maksimalno dozvoljene koncentracije. Zabrinjava i



odnos Ca/Mg koji je, umesto 3–4, više od deset puta viši, što ukazuje na nizak sadržaj Mg u vodi;

Od mikroelemenata određen je sadržaj metala: Zn, Mn, Fe i Cu. Sadržaj Zn, Cu i Mn je u skladu sa Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće;

Od ostalih elemenata određen je sadržaj Pb, Cd i Al u vodi za piće. Sadržaj Cd i Pb je na samoj granici dozvoljenih koncentracija, dok je sadržaj Al 2,7 puta viši od maksimalno dozvoljene koncentracije;

Na osnovu ovih istraživanja uočena je povezanost prisustva toksičnih elemenata (Pb, Cd, Al) u vodi za piće i pojave porasta hroničnih nezaraznih oboljenja kao što je hronična bubrežna insuficijencija (HBI) i bolesti mokraćnog sistema sa 84,06%, naročito kod žena doba starosti preko 15 godina, koja je zabeležena u Braničevskom okrugu i čija stopa iznosi 126,3/1000.

Proračunati podaci ukazuju da rizik od unošenja elemenata koji se u vodi za piće iz vodovodne mreže Grada Požarevca nalaze u vrednosti višoj od one dozvoljene pravilnikom, ni za jedan metal ne pokazuje kratkoročni zdravstveni rizik po zdravlje ljudi.

Analiza podataka o dugoročnom zdravstvenom riziku ukazuje da jedina realna opasnost postoji od prisustva Cd u vodi za piće. Rizik od pojave kancera prisutan je kod svakog petog stanovnika koji koristi ovu vodu za piće.

## Zahvalnica

Ovaj rad je rađen u okviru projekta osnovnih istraživanja broj III 43009. Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije za učešće u finansiranju ovoga rada.

## Literatura

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1997). *Toxicological Profile: Uranium and Compounds DE-98/02*, Department of Health and Human Services. Atlanta, USA.
- Becaria, A., Campbell, A., & Bondy, S.C. (2002). Aluminum as a toxicant. *Toxicology and Industrial Health*, 18 (7), 309-320.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009). *Analytical Methods Approved for Drinking Water Compliance Monitoring of Inorganic Constituents National Primary Drinking Water Regulations*. The method are specified in CFR 141.23 and Appendix A to Subpart C of Part 141, Washington, USA.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009). *Analytical Methods Approved for Drinking Water Compliance Monitoring of Inorganic Constituents National Primary Drinking Water Regulations*. The method are specified in CFR 141.23 and Appendix A to Subpart C of Part 141, Washington, USA.
- EU Directive 98/83/EC (1998). *Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption*. Official Journal of the European Union L330/32 5/12/1998.
- Jelenković, J.R. (1999). *Ležišta metaličnih mineralnih sirovina* [Metallic ore mineral deposits]. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.

- Kostić, A.Ž., Pantelić, N.Đ., Kaluđerović, L.M., Jonaš, J.P., Dojčinović, B.P., & Popović-Đorđević, J.B. (2016a). Physicochemical Properties of Waters in Southern Banat (Serbia); Potential Leaching of Some Trace Elements from Ground and Human Health Risk. *Expo Health*, 8, 227-238.
- Kostić, A., Lačnjevac, Č., Pantelić, N., & Popović, J. (2016b). Procena potencijalnog zdravstvenog rizika usled prisustva makro i mikroelemenata u pijaćoj vodi sa područja Dolova (opština Pančevo), *Međunarodno savetovanje „Održivi razvoj Braničevskog okruga i energetskog kompleksa Kostolac”*, Zbornik radova, Kostolac, 91-94.
- Leung, A.O., Duzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C., & Wong, M.H. (2008). Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southern China. *Environmental Science & Technology*, 42, 2674-2680.
- Lin, K., Lu, S., Wang, J., & Yang, Y. (2015). The arsenic contamination of rice in Guangdong Province, the most economically dynamic provinces of China: arsenic speciation and its potential health risk. *Environmental Geochemistry and Health*, 37, 535-361.
- Milojević, M. (2004). Kvalitet vode u vodovodu. *Vodoprivreda*, 36 (211-212), 339-360.
- Momot, O., & Synzynys, B. (2005). Toxic aluminium and heavy metals in groundwater of Middle Russia: health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2, 214-218.
- Papić, M., Čuk, M., Todorović, M., Stojković, J., Hajdin, B., & Atanacković, N. (2012). Arsenic in Tap Water of Serbia's South Pannonian Basin and Arsenic Risk Assessment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21, 1783-1790.
- Pavlica, T., Božić-Krstić, V., Rakić, R., & Srdić, B. (2010). Nutritional status nad fat tissue distribution in health adults from some places in Central Banat. *Medicinski Pregled*, LXIII, 21-26.
- Petrović, M., Zlokuća Mandić, T.M., Veljković, N., Papić, P.J., Poznanović, M.M., Stojković, J.S., & Magazinović, S.M. (2012). Makro- i mikroelementi u flaširanim vodama i vodama iz javnih vodovoda u Srbiji. *Hemijska industrija*, 66 (1), 107-122.
- Pizent, A., & Butković, S. (2010). Copper in Household Drinking Water in the City of Zagreb, Croatia. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 61, 305-309.
- Rajković-Ognjanović, V. (2016). *Kvalitet vode – laboratorijski praktikum sa teorijskim osnovama*. Beograd: Građevinski fakultet.
- Rajković, M.B. (2002). *Hemija elemenata*. Beograd: Poljoprivredni fakultet.
- Rajković, M.B. (2003). Neke neorganske supstance koje se mogu naći u vodi za piće i posledice po zdravlje ljudi. *Hemijska industrija*, 57, 24-34.
- Rajković, M.B., Stojanović, M.D., Pantelić, G.K., & Tošković, D.V. (2004). Determination of Inorganic Compounds in Drinking Water on the Basis of House Water Heater Scale. Part 1. Determination of heavy metals and uranium. *Acta Periodica Technologica*, 35, 131-140.
- Rajković, M.B. (2007). *Uvod u analitičku hemiju klasične osnove*. Beograd: Pergament.
- Rajković, M.B., Lačnjevac, C., Ralević, N., Stojanović, M., Tošković, D., Pantelić, G., Ristić, N., & Jovanic, S. (2008a). Identification of Metals (Heavy and Radioactive) in Drinking Water by an Indirect Analysis Method Based on Scale Test. *Sensors*, 8, 2188-2207.
- Rajković, M.B., Lačnjevac, Č., Stojanović, M., Pantelić, G., Tošković, D., & Stanojević D. (2008b). Određivanje neorganskih jedinjenja u vodi za piće u vodi iz vodovodne mreže Beograda – Gornji grad Zemun na bazi kamenca, 29. *stručno-naučni skup sa međunarodnim učešćem VODOVOD I KANALIZACIJA '08*, Zbornik radova, Zlatibor, 113-118.
- Rajković, M.B., Stojanović, M.D., & Pantelić, G.K. (2009). *Indirektna metoda određivanja elemenata (metala i nemetala) u vodi za piće ispitivanjem kamenca*. Beograd: Savez inženjera i tehničara Srbije.
- Rajković, M.B. (2010). *Hemijske metode analize*. Beograd: Poljoprivredni fakultet.
- Rajković, M.B., Sredojević, I.D., Račović, M.B., & Stojanović, M.D. (2012). Analysis of Quality Mineral Water of Serbia: Region Arandjelovac. *Journal of Water Resource and Protection*, 4 (9), 783-794.

- Rajković, M., Stojanović, M., & Milojković, S. (2015). Ispitivanje kvaliteta vode za piće iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu. *Zaštita materijala*, 56 (2), 213-223.
- Rajković, M.B., Stojanović, M.D., & Milojković, S.R. (2017a). Procena potencijalnog zdravstvenog rizika usled prisustva toksičnih metala u vodi za piće iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu. *Journal of Agricultural Sciences*, 62 (1), 61-77.
- Rajković, M.B., Stojanović, M., & Milojković, S. (2017b). Uticaj makro- i mikroelemenata na zdravstvenu ispravnost vode za piće iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu. *Savetovanje „Održivi razvoj Braničevskog okruga i energetske kompleksa Kostolac”*, Zbornik radova, Kostolac, 27-36.
- Rakić, M. (1984). *Basic geological map 1:100000, Sheet for Bela Crkva L34-115*, Belgrade: RO Geological Institute. Federal Geological Bureau of Belgrade, (In Serbian).
- Rekalić, V. (1998). *Analiza zagađivača vazduha i vode*. Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet.
- Republika Srbija, Zavod za javno zdravlje Požarevac (2012). Analiza zdravstvenog stanja stanovništva Braničevskog okruga za 2012. godinu, Požarevac  
Available from: [http://www.javnozdravljepo.nadlanu.com/UserFiles/javnozdravljepo/File/Analiza\\_zdravstvenog\\_stanja\\_Branicevskog\\_okruga\\_2012.pdf](http://www.javnozdravljepo.nadlanu.com/UserFiles/javnozdravljepo/File/Analiza_zdravstvenog_stanja_Branicevskog_okruga_2012.pdf)
- Službeni list SRJ (1998). *Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće*. Broj 42/1998.
- Službeni list SRJ (1999). *Pravilnik o izmenama i dopunama Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće*. Broj 44/1999.
- Službeni list SCG br. 53/2005 i Službeni glasnik RS br. 43/2013. *Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu*. Available from: <http://www.tehnologijahrane.com/pravilnik/pravilnik-o-kvalitetu-i-drugim-zahtevima-za-prirodnu-mineralnu-vodu-prirodnu-izvorsku-vodu-i-stonu>.
- Službeni list RS (2013). *Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu*. broj 43/2013.
- Text from the Web site: Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) (2008): Guideline on the specification limits for residues of metal catalysts or metal reagents. *European Medicines Agency, Committee for medicinal products for human use*, London. Available from: [http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Scientific\\_guideline/2009/09/WC500003586.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2009/09/WC500003586.pdf).
- World Health Organization (WHO) (2006). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. First Addendum to Third Edition Vol. 1 recommendation, Geneva, Switzerland, p. 595.
- World Health Organization (WHO) (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 4th ed., Geneva, Switzerland.
- World Health Organization (WHO) (1998). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 2nd ed., Addendum to Volume 2: Health Criteria and Other Supporting Information, WHO/EOS/98.1, Geneva, Switzerland, p. 283.
- Wu, J., & Sun, Z. (2015). Evaluation of shallow groundwater contamination and associated human health risk in alluvial plain impacted by agricultural and industrial activities. *Expo Health*, 62 (3), 311-329.

Primljeno: 23. februara 2018.

Odobreno: 13. jula 2018.

ANALYSIS OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN DRINKING WATER  
FROM THE POŽAREVAC CITY PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM

Miloš B. Rajković<sup>1\*</sup>, Mirjana D. Stojanović<sup>2</sup>, Slađana R. Milojković<sup>3</sup>,  
Aleksandar P. Đorđević<sup>1</sup> and Lazar M. Kaluderović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Agriculture,  
Nemanjina 6, 11080 Belgrade-Zemun, Serbia

<sup>2</sup>Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials (ITNMS),  
Franše d'Eperea 86, Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>Agricultural Boarding School „Sonja Marinković”,  
Ilije Birčanina 70, Požarevac, Serbia

A b s t r a c t

This study aims at analysing physical, chemical and microbiological properties, and content of macro- and microelements in the water from the Požarevac city public water supply system. Analysis shows an increased content of Ca in drinking water, as a result of the position of Požarevac on the sediments of river terrace of accumulative character of t1 type, predominantly consisting of quartzite. The water from the public water supply is alkaline ('calcic', 'bicarbonate water') and very hard, due to the increased Ca content. Beside Ca, potassium and aluminium exceed the maximum contaminant level, while Pb and Cd are at the very limit. Calculated data show that there are no short-term health risks regarding elements exceeding allowed concentrations found in the public water supply system. Data analysis regarding long-term health risks shows that Cd present in drinking water poses the only relevant threat to human health. Cancer risk is present in 202 out of 1000 inhabitants using this water.

**Key words:** drinking water, scale, calcium, heavy metals, Požarevac.

Received: February 23, 2018

Accepted: July 13, 2018

---

\*Corresponding author: e-mail: rajmi@agrif.bg.ac.rs