

Analiza odabranih elemenata u vodi u pogonima za pripremu vode za piće u Beogradu

Davor Z. Antanasijević¹, Nataša A. Lukić², Viktor V. Pocajt¹, Aleksandra A. Perić-Grujić¹, Mirjana Đ. Ristić¹

¹Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

²JKP Beogradski vodovod i kanalizacija, Beograd, Srbija

Izvod

U ovom radu ispitivan je sadržaj aluminijuma, bora, hroma, mangana, kobalta, nikla, bakra, cinka, arsena, kadmijuma, barijuma i olova u sirovoj vodi i vodi za piće koju koristi, odnosno isporučuje potrošačima Javno komunalno preduzeće Beogradski vodovod i kanalizacija. Ispitano je ukupno 14 uzoraka sa svih pogona za pripremu vode koja su u sastavu Beogradskog vodovoda i kanalizacije. Analiza uzoraka je rađena primenom indukovanu spregnute plazme sa masenom spektrometrijom. Cilj istraživanja je bio da se ispita efikasnost procesa za pripremu vode za piće koji se primenjuju u pogonima Beogradskog vodovoda i kanalizacije. Iako su koncentracije pojedinih elemenata u sirovoj vodi bile u širokom opsegu vrednosti i znatno se razlikovale u podzemnim i rečnim vodama, u uzorcima vode za piće koncentracije svih ispitivanih elemenata bile su niže od maksimalno dozvoljenih koncentracija propisanih zakonskom regulativom Republike Srbije.

Ključne reči: Voda za piće • Elementi u tragovima • Beograd • ICP-MS

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

Voda je jedan od osnovnih, neophodnih, uslova za opstanak i razvoj živih organizama na Zemlji. Danas se velike količine vode troše u poljoprivredi, zanatstvu, industriji, kao i za zadovoljavanje svakodnevnih potreba stanovništva za čistom i bezbednom vodom za piće. Zagađenje vode se može zapaziti po lošem ukusu, neprijatnom mirisu, naglom povećanju vodenih algi, izumiranju riba, pojavi ulja po površini i sl. Zavisno od porekla zagađenja i načina na koje prouzrokuju zagađenje, zagađujuće materije vode se mogu svrstati u više grupa: otpadni materijali koji troše kiseonik, uzročnici bolesti, sredstva koja podstiču razvitak biljnog sveta u vodi, neorganska jedinjenja, sedimenti, sintetička organska jedinjenja, nafta i njeni derivati, radioaktivne supstance i toplota [1].

Stalna kontrola kvaliteta površinskih voda u Republici Srbiji obavlja se radi procene kvaliteta vodotokova, praćenja trenda zagađenja i očuvanja kvalitetnih vodnih resursa. Ispitivanja kvaliteta vode na izvorštima i akumulacijama služe za ocenu ispravnosti voda za potrebe vodosnabdevanja i rekreacije građana, s ciljem zaštite izvorišta i zdravlja stanovništva [2].

Danas podzemne vode obezbeđuju 75% potreba za vodom u domaćinstvima i industriji u Republici Srbiji. Resursi podzemnih voda biće preovlađujući tip izvora za vodosnabdevanje stanovništva i industrije u našoj zemlji i 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 [2].

Snabdevanje Beograda vodom uglavnom je iz reke Sava. Odnos podzemne i površinske vode je 70:30, a osnovu snabdevanja podzemnim vodama čine bunari u priobalju Save i na Adi Ciganliji. Kod ovakvog tipa izvorišta karakteristično je neposredno prihranjivanje izdani rečnim tokom. Rečna voda zahvata se sa dve crpne stanice: iz reke Save za potrebe pogona Makiš i Bele vode potiskuje se oko 3.000 dm³/s; iz Dunava se zahvata 40–60 dm³/s za pogon Vinča [3].

U sistemu Javnog komunalnog preduzeća Beogradski vodovod i kanalizacija voda se prečišćava u pet postrojenja za prečišćavanje: Bele vode, Banovo brdo, Bežanija, Makiš i Vinča. Postrojenja Banovo brdo, Bežanija i deo pogona Bele vode prerađuju podzemnu vodu, a priprema vode se vrši aeracijom, filtracijom i hlorisanjem. Drugi deo postrojenja Bele vode, Makiš i Vinča prerađuju rečnu vodu; proces obrade sirove rečne vode uključuje sledeće operacije: koagulacija-flokulacija, taloženje, filtracija i hlorisanje, a u pogonu Makiš se pored navedenih operacija vrši i ozonizacija pre filtracije. Prilikom bistrenja vode (koagulacija-flokulacija) u vodu se dodaje kao koagulant aluminijum-sulfat, a kao flokulant polielektrolit. Pored navedenih supstanci dodaje se i bakar-sulfat kao algicid.

Elementi u tragovima mogu biti esencijalni za ljudski život, poput Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se i Zn, i potencijano toksični, kao Ag, Al, As, Cd, Pb i Ni [4]. Međutim, kako nedostatak, tako i povišene koncentracije esencijalnih elemenata, mogu imati negativan uticaj na zdravlje ljudi [5].

STRUČNI RAD

UDK 628.1.033:543.3

Hem. Ind. 65 (2) 187–196 (2011)

doi: 10.2298/HEMIND101027001A

Prepiska: D.Z. Antanasijević, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, Beograd, Srbija.

E-pošta: dantanasijevic@tmf.bg.ac.rs

Rad primljen: 27. oktobar, 2010

Rad prihvaćen: 10. januar, 2011

U ovom radu ispitivan je sadržaj aluminijuma, bora, hroma, mangana, kobalta, nikla, bakra, cinka, arsena, kadmijuma, barijuma i olova u sirovoj vodi i vodi za piće koju koristi, odnosno isporučuje potrošačima Beogradski vodovod i kanalizacija.

EKSPERIMENTALNI DEO

Uzorkovanje

Uzorci vode za piće ispitivani u ovom radu uzeti su 2009. godine sa različitih postrojenja za preradu površinske i podzemne vode u Javno komunalnom preduzeću Beogradski vodovod i kanalizacija. Obuhvaćeno je svih pet pogona i to po fazama prerade – tretmana vode, na svakom od njih ponaosob. Uzeta je voda i sa crpnih stanica i iz dela distributivnog sistema, kako bi se odredile koncentracije ispitivanih elemenata i uticaj sastava sirove vode i procesa pripreme vode na sadržaj ispitivanih elemenata u vodi za piće koja se distribuira. Ukupno 14 uzoraka sa odabranih lokacija uzeto je u skladu sa odgovarajućim standardima [6–8] i odmah su transportovani u laboratoriju. Potom su zakiseljeni rastvorom HNO₃, tako da je pH bio niži od 2. Neposredno pre analize, oko 10 ml svakog uzorka je pripremljeno za merenje na instrumentu ICP MS Agilent 7500ce, filtriranjem kroz filter od 0,45 µm. Opis uzoraka sa nazivima lokacija je dat u tabeli 1.

Reagensi i standardni rastvori

Pored uzoraka za analizu pripremljeni su i kalibracioni standardi. Za pripremu rastvora za kalibraciju korišćen je Multistandard IV – multielementarni standardni rastvor (Fluka, Steinheim, Švajcarska) koji sadrži Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Ti, V i Zn

čije su koncentracije redom 40, 40, 100, 40, 10, 10, 10, 20, 20, 100, 10, 20, 40, 100, 100, 40 i 100 ppm. Priprema standardnih rastvora za ispitivanje odabranih elemenata vršena je razblaživanjem Multistandarda IV, tako da su koncentracije standarda za izradu kalibracionih dijagrama bile u opsegu očekivanih koncentracija ispitivanih elemenata.

Analiza uzoraka

Sva merenja su vršena na masenom spektrometru sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-MS 7500ce, Agilent Technologies – SAD), metodom kvantitativne analize, u skladu sa uputstvima proizvođača. Radni uslovi ICP-MS instrumenta i parametri za određivanje koncentracije odabranih elemenata su podešeni tako što je pre analize uzorka izvršena optimizacija instrumenta (tuning) upotrebom rastvora (*tuning solution*) koji sadrži Li, Mg, Co, Y, Ce i Ti koncentracije 1 µg/dm³.

PRIKAZ REZULTATA

Podaci dobijeni ispitivanjem uzoraka vode iz pet proizvodnih pogona Beogradskog vodovoda i kanalizacije, kao i lokacije sa kojih su uzeti, prikazani su u tabeli 2 i na slikama 1 i 2. Izmerene koncentracije arsena (slika 1) prikazane su grafički da bi se ilustrovala razlika u sadržaju ovog toksičnog elementa u rečnim i podzemnim vodama i promena njegove koncentracije tokom procesa obrade vode. Sadržaj bakra u ispitivanim uzorcima je prikazan na slici 2, da bi se istakao uticaj elementa koji se dodaje tokom pripreme vode (bakar-sulfat kao fungicid) na kvalitet vode za piće. Za svaki od 10 ispitivanih elemenata u tabeli 2 su date maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK), prema zakonskoj regula-

Tabela 1. Opis uzoraka uzetih sa odabranih lokacija iz pogona Beogradskog vodovoda i kanalizacije

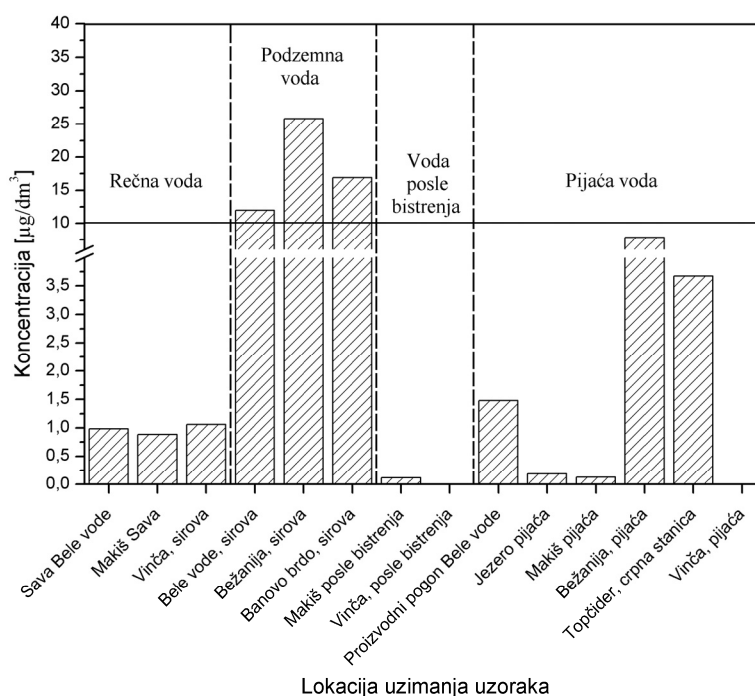
Table 1. Description of the samples taken from the selected locations of the Water Supply and Sewage of Belgrade distribution system

Broj uzorka	Naziv lokacije	Opis uzorka	Pogon
1	Sava Bele vode	Voda iz reke Save	Bele vode
2	Bele vode, sirova	Bunarska voda iz cevni bunara koji se nalaze u Makiškom polju, kao i iz pet reni bunara koji se nalaze uz reku Savu	
3	Proizvodni pogon Bele vode	Voda koja iz postrojenja ide u distributivni sistem	
4	Makiš Sava	Voda iz reke Save	Makiš
5	Makiš posle bistrenja	Voda iz pogona nakon procesa bistrenja	
6	Makiš pijaća	Voda koja iz postrojenja ide u distributivni sistem	
7	Jezero pijaća	Voda koja iz postrojenja ide u distributivni sistem	
8	Bežanija, sirova	Bunarska vodu iz aluviona reke Save	Bežanija
9	Bežanija, pijaća	Voda koja iz postrojenja ide u distributivni sistem	
10	Banovo brdo, sirova	Bunarska vodu iz aluviona reke Save	Banovo brdo
11	Topčider, crpna stanica	Pijaća voda na crpnoj stanici Topčider	
12	Vinča, sirova	Voda iz reke Dunava	Vinča
13	Vinča, posle bistrenja	Voda iz pogona nakon procesa bistrenja	
14	Vinča, pijaća	Voda koja iz postrojenja ide u distributivni sistem	

Tabela 2. Koncentracije određivanih elemenata u uzorcima vode iz pogona Beogradski vodovod i kanalizacija u $\mu\text{g}/\text{dm}^3$
 Table 2. Concentration of the elements ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) in the samples of water from the Water Supply and Sewage of Belgrade distribution system

Broj uzorka	Lokacija	^{11}B	^{27}Al	^{53}Cr	^{55}Mn	^{59}Co	^{60}Ni	^{66}Zn	^{111}Cd	^{137}Ba	^{208}Pb
1	Sava, Bele vode	17,06	67,21	0,55	19,60	0,33	1,99	5,92	0,08	10,4	1,27
2	Bele vode, sirova	56,20	<0,50	<0,21	273,9	0,44	2,21	1,22	0,04	144	0,33
3	Proizvodni pogon Bele vode	37,89	43,20	0,23	3,68	0,30	3,64	3,35	0,13	66,35	0,59
4	Makiš Sava	16,13	55,18	0,45	18,78	0,28	1,82	14,79	0,04	7,4	0,87
5	Makiš posle bistenja	15,95	312,3	0,29	4,14	0,17	1,35	3,64	<0,01	2,6	0,19
6	Makiš pijaća	17,79	38,35	0,31	0,37	0,19	1,88	6,30	0,31	16,80	0,60
7	Jezero pijaća	17,57	46,3	0,35	0,48	0,21	1,72	1,41	0,11	17,40	0,17
8	Bežanija, sirova	51,14	<0,50	0,49	312,8	0,38	1,85	0,85	0,06	105,6	0,28
9	Bežanija, pijaća	58,79	0,28	0,35	0,89	0,24	1,44	4,44	0,08	100,6	0,43
10	Banovo brdo, sirova	41,73	<0,50	<0,21	292,5	0,24	1,29	0,42	0,21	93,4	0,19
11	Topčider, crpna stanica	39,66	15,39	0,16	1,26	0,21	1,42	2,61	0,11	80,99	0,40
12	Vinča, sirova	17,49	50,09	0,42	31,15	0,28	1,77	5,08	<0,01	16,6	1,01
13	Vinča, posle bistenja	19,20	112,2	<0,21	7,53	<0,10	1,80	18,59	0,10	10,2	2,20
14	Vinča, pijaća	19,29	39,00	0,25	5,77	0,20	2,74	6,30	0,02	18,62	0,18
Regulativa											
MDK [9]		300	200	50	50	–	20	3,000	3	700	10
WHO [10]		500	100 ^a 200 ^b	50	400	–	70	–	3	700	10

^aZa veća postrojenja za preradu vode za piće; ^bza manja postrojenja za preradu vode za piće



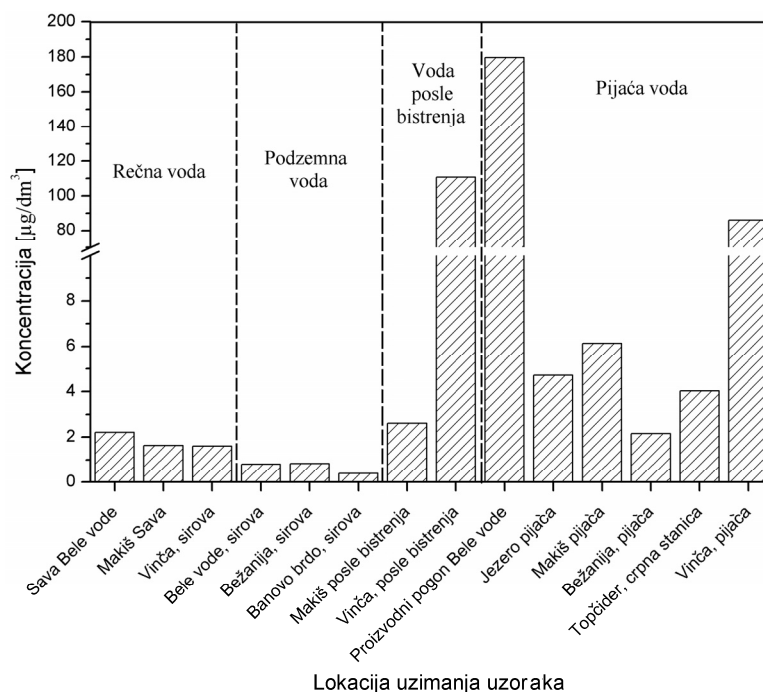
Slika 1. Koncentracija arsena u uzorcima vode iz pogona Beogradski vodovod i kanalizacija.

Figure 1. Concentration of arsenic in the samples of water from the Water Supply and Sewage of Belgrade distribution system.

tivi Republike Srbije [9] i prema smernicama o kvalitetu vode za piće Svetske zdravstvene organizacije (WHO – *World Health Organization*) [10]; MDK za arsen je $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a za bakar $2.000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. U nekim uzorcima,

koncentracije pojedinih elemenata bile su ispod granice detekcije instrumenta.

Kao što je već istaknuto u Uvodu, u postrojenju Bele Vode prerađuje se površinska voda (voda reke Save) i podzemna voda (bunarska voda iz cevni bunara koji se



Slika 2. Koncentracije bakra u uzorcima vode iz pogona Beogradski vodovod i kanalizacija.

Figure 2. Concentration of copper in the samples of water from the Water Supply and Sewage of Belgrade distribution system.

nalaze u Makiškom polju, kao i iz pet reni bunara koji se nalaze uz reku Savu). Tehnološki proces prerade površinske vode, koja obezbeđuje do 70% sirove vode, obuhvata sledeće faze: predhlorisanje (predoksidacija), koagulacija sa flokulacijom, taloženje i filtracija. U okviru procesa obrade vode dodaju se bakar-sulfat, aluminijum-sulfat i polielektrolit, kao i kod ostalih sistema u kojima se prerađuje površinska voda. Tehnološki proces obrade podzemne vode u ovom pogonu obuhvata sledeće faze: aeracija, taloženje i filtracija. Zatim se, na opisani način prerađene površinske i podzemne vode posle filtracije mešaju i zajedno hlorigu, pre puštanja u distributivni sistem. Kod uzoraka uzetih iz Proizvodnog pogona Bele Vode, uzorci broj 1 (sirova rečna voda), 2 (sirova podzemna voda) i 3 (prerađena voda), koncentracije svih elemenata, sem mangana i arsena, bile su izuzetno niske i ispod MDK koje su propisane za vodu za piće [9]. Odstupanja su uočena samo kod uzorka 2, u kome je koncentracija mangana bila 5,5 puta viša od MDK vrednosti (tabela 2), a koncentracija arsena je bila $11,96 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, odnosno nešto viša od MDK vrednosti koja iznosi $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (slika 1).

Proizvodni pogon Makiš zajedno sa Pogonom Jezero se snabdeva vodom reke Save sa vodozahvata. Na ovim postrojenjima primenjuje se savremena tehnologija prerade rečne vode složenijim tehnološkim procesima. Voda dolazi na postrojenje za preradu, najpre na mešače gde joj se dodaju sredstva za bistrenje, koagulant (aluminijum-sulfat) i flokulant (polielektrolit). Sledeća faza je taloženje, pa faza ozonizacije, zatim filtracija na peščanim filterima, a potom na filterima sa aktivnim ug-

ljem (GAU). Na kraju se vrši dezinfekcija vode gasovitim hlorom da bi se obezbedio potreban rezidual hlora za dalji transport kroz mrežu. Uzorci vode 4–7 uzeti su sa Proizvodnog pogona Makiš, u čijem je sastavu i Pogon Jezero. Sirova voda pogona Makiš (uzorak 4), voda reke Save, sadrži izuzetno nisku koncentraciju svih ispitivanih elemenata. Nije zabeleženo ni značajnije prisustvo arsena u vodi, što ukazuje na dobar kvalitet vode reke Save, sa aspekta sadržaja ovog elementa. Koncentracije bora, hroma, kobalta i nikla su u svim uzorcima znatno ispod MDK koja se odnosi na vodu za piće [9], a takođe neznatno variraju u pojedinačnim uzorcima, što ukazuje da pri obradi vode ne dolazi do njihovog izdvajanja. Ističe se porast koncentracije aluminijuma oko 6 puta (uzorak 5), u odnosu na koncentraciju u sirovoj vodi (uzorak 4), posle dodavanja sredstva za koagulaciju. Međutim, na kraju procesa prerade vode ima ga znatno manje, kako u izlaznoj vodi Makiša (uzorak 6), tako i u izlaznoj vodi postrojenja Jezero (uzorak 7).

Koncentracija bakra (slika 2), posle dodavanja bakkar-sulfata u procesu bistrenja neznatno raste (Makiš posle bistrenja), a u pijaćoj vodi na izlazu iz postrojenja za preradu (Makiš pijaća) ima ga više nego u sirovoj vodi (Makiš Sava), što ukazuje na moguće ograničenje u efikasnosti uklanjanja metala konvencionalnim procesima prerade vode. Neophodno je naglasiti da koncentracije svih ispitivanih elemenata u pijaćoj vodi Makiša i Jezera ne prelaze MDK [9].

Proizvodni pogon Bežanija prerađuje podzemnu-bunarsku vodu iz aluviona reke Save. Prerada podzemne vode je relativno jednostavna i sastoji se od aeracije,

taloženja i filtracije na peščanim filterima. Na kraju procesa, dodaje se hlor kao dezinfekciono sredstvo. Uzorci vode 8 i 9 uzeti su sa Proizvodnog pogona Bežanija. Rezultati analize ispitivanih elemenata u uzorcima vode iz ovog pogona pokazuju da većina ispitivanih teških metala nema povišene vrednosti, odnosno da su znatno ispod MDK [9]. Uočava se povišen sadržaj mangana u sirovoj vodi koja nije tretirana (uzorak 8), ali njegova koncentracija znatno opada posle aeracije i taloženja, tako da je u pijaćoj vodi (uzorak 9), koncentracija veoma niska ($0,89 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Jedna od karakteristika podzemnih voda je povećan sadržaj mangana, koji se uspešno uklanja aeracijom i filtracijom, kao što je uočeno i u ispitivanim uzorcima. U sirovoj podzemnoj vodi ovog pogona koncentracija arsena je bila $25 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ali je procesom obrade vode smanjena na $7,83 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, što je niže od propisane maksimalno dozvoljene koncentracije prema regulativi Republike Srbije, koja iznosi $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ [9]. Prisustvo arsena u podzemnim vodama nije nepoznato i često je posledica nekog zagađenja, a ponekad je uzrok i sam prirodni sastav zemljišta sa koga potiču podzemne vode.

Proizvodni pogon Banovo brdo prerađuje bunarsku vodu iz aluviona reke Save. Postupak prerade sirove vode je isti kao i kod pogona Bežanija (aeracija, filtracija i taloženje). Voda iz ovog pogona se meša sa vodom sa pogona Makiš tako da crpna stanica Topčider potiskuje u distributivni sistem mešanu vodu. Na samoj crpnoj stanici se obavlja kontrola kvaliteta mešane vode i koncentracije hlora. Uzorak 10 je sirova voda iz pogona Banovo brdo, a uzorak 11 voda za piće iz crpne stanice Topčider. Sirova voda koja dolazi na preradu ima povišen sadržaj mangana ($292,5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$); koncentracija ovog elementa u pijaćoj vodi na crpnoj stanici Topčider je čak 150 puta niža ($1,26 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), što znači da se efikasno odstranjuje u procesu prerade na pogonu Banovo brdo. Takođe je u sirovoj vodi bila nešto povišena koncentracija arsena ($16,89 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), ali je u procesu obrade vode izdvojen, tako da je u pijaćoj vodi koncentracija bila oko 4 puta niža ($3,67 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) i ispod MDK [9]. Što se ostalih analiziranih teških metala tiče, ne zapaža se povećanje njihovih koncentracija, ni u sirovoj, niti u pijaćoj vodi, odnosno u svim uzorcima su vrednosti bile niže od MDK [9].

Uzorci vode 12–14 uzeti su iz Proizvodnog pogona Vinča, koji prerađuje površinsku vodu reke Dunav i to uobičajenim tretmanom za površinske vode: koagulacija – flokulacija (bistrenje), zatim taloženje, pa filtracija na peščanim filterima i na kraju dezinfekcija gasovitim hlorom. U prvoj fazi koagulacije dodaje se $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ i flokulant-polielektrolit, tako da je primetna povećana koncentracija aluminijuma u vodi posle bistrenja ($112,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), ali se posle daljeg tretmana njegova koncentracija snižava, tako da je u pijaćoj vodi koncentracija $39,00 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Slično ponašanje uočeno je i kod bakra,

jer se dodaje CuSO_4 kao algicid, tako da je koncentracija bakra u vodi posle bistrenja ($110,8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oko 70 puta veća od koncentracije u sirovoj vodi ($1,60 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Koncentracija bakra u pijaćoj vodi iz pogona Vinča je nešto niža u odnosu na koncentraciju u vodi posle bistrenja. Uočeno je smanjenje koncentracije mangana posle bistrenja ($7,53 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) u odnosu na njegovu koncentraciju u sirovoj vodi ($31,15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

DISKUSIJA

U pogonima za preradu rečnih voda Makiš i Vinča i u jednom delu pogona Bele vode, primenjuje se konvencionalni princip prerade vode. Na osnovu eksperimentalnih podataka dobijenih u ovom radu, može se zaključiti da je primenjeni postupak tretmana rečnih voda odgovarajući, jer su izlazni parametri pijaćih voda, ispitivani u ovom radu, ispod vrednosti propisanih Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće [9]. Kod prerade podzemnih voda u pogonima Bežanija, Banovo brdo i delu pogona Bele vode, tretman bunarske vode se zasniva na uobičajenim fazama za preradu ovakvih voda. Ovakva koncepcija prerade vode po pogonima za preradu vode Beogradskog vodovoda za sada daje odlične rezultate sa aspekta sanitarno – higijenskog kvaliteta vode za piće. Koncentracije ispitivanih elemenata u ovom eksperimentalnom radu su potvrdile da su principi prerade i površinskih i podzemnih voda zadovoljavajući sa stanovišta koncentracije ovih elemenata.

Dugogodišnja izloženost boru, bornoj kiselini ili solima bora dovodi do hroničnog trovanja koje se manifestuje gubitkom apetita, mučninom ili povraćanjem [11]. Sadržaj bora se znatno razlikuje u rečnim i podzemnim vodama, pa stoga i u vodama za piće dobijenim preradom odgovarajućih sirovih voda. Koncentracija bora u rečnim vodama je dva do tri puta niža od koncentracije u podzemnim vodama (tabela 2). Uzorak 3 koji potiče iz Proizvodnog pogona Bele vode dobija se mešanjem rečne vode (Sava) i podzemne vode, tako da je koncentracija bora u ovom uzorku približno jednaka srednjoj vrednosti koncentracija bora u sirovim vodama (Sava Bele vode i Bele vode, sirova) (tabela 2). Očigledno je da se procesom prerade vode u ovim pogonima sadržaj bora neznatno menja u odnosu na sadržaj u sirovim vodama, tako da se može zaključiti da se procesom prerade voda na ovim pogonima bor ne izdvaja, niti unosi u sistem.

Povećane koncentracije aluminijuma mogu dovesti do značajnih zdravstvenih problema, pre svega oštećenja nervnog sistema, demencije, gubitka pamćenja, dijareje. Aluminijum predstavlja rizik po zdravlje ljudi, pre svega u rudnicima, a takođe ljudi koji rade u fabrikama imaju zdravstvene probleme sa plućima, zbog aluminijumske prašine. Kod bubrežnih bolesnika uzrokuje probleme, kada dospeva u organizam putem dija-

lize bubrega. Sumnja se da utiče i na pojavu Alchajmerove bolesti [10]. Koncentracija aluminijuma u svim uzorcima podzemne sirove vode (Bele vode, sirova; Bežanija sirova i Banovo brdo, sirova) bila je ispod granice detekcije instrumenta ($0,50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), dok je u rečnoj vodi, kako Save, tako i Dunava, sadržaj aluminijuma bio oko $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najviši sadržaj aluminijuma izmeren je u uzorcima vode posle bistrenja (Makiš i Vinča) (tabela 2), što je i očekivano jer se u ovim pogonima prerađuje rečna voda, pa se u procesu prerade dodaje koagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Međutim, voda za piće iz ovih pogona sadrži aluminijum u koncentracijama koje su niže od MDK [9], odnosno proces je zadovoljavajući sa stanovišta smanjenja koncentracije aluminijuma.

Pri dužem konzumiranju vode za piće, koja sadrži povišene koncentracije hroma, može doći do oštećenja jetre, bubrega i nervnog tkiva [12]. Izmerene koncentracije hroma ukazuju na činjenicu da su sirove vode koje se koriste za proces prerade dobrog kvaliteta. Pošto industrijskog zagađenja nema, primećuje se i nizak nivo hroma u svim uzorcima sa različitih lokacija.

Malo je verovatno da će rizik po zdravlje prouzrokovati mangan u uobičajenim, očekivanim koncentracijama u vodi za piće. Neželjeni efekti mogu biti promena ukusa, pojava mrlja na vešu i promena boje vode, počevši od $0,15 \text{ mg}/\text{dm}^3$ [11]. Vrednosti koncentracija mangana izmerene u uzorcima iz pogona za preradu vode pokazuju da površinske vode reke Save i Dunava, koje se prerađuju, ne sadrže veće koncentracije ovog teškog metala, tako da je koncentracija u sirovoj vodi iz reke Save oko $19 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a iz Dunava $31,15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Podzemne vode koje se koriste kao sirove vode u tri pogona (uzorci 2, 8 i 10) karakteriše visoka koncentracija mangana, od 273 do $312 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Tokom prerade vode u ovim pogonima, kao i posle mešanja sa rečnom vodom na pogonu Bele vode, u pijaćoj vodi koncentracija mangana se snižava znatno, tako da je obično niža od $4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. To znači da je skoro sav mangan koji se nalazio u sirovoj bunarskoj vodi prešao u nerastvoran oblik i istaložio se u ovom procesu prerade vode.

U metabolizmu kobalt se smatra esencijalnim elementom [13], a obzirom da je koncentracija kobalta u vodi veoma niska u odnosu na moguću toksičnost, nije propisana maksimalno dozvoljena koncentracija [11]. Koncentracija kobalta u svim uzorcima je veoma niska i sa malim stepenom varijacije (ispod granice detekcije do $0,44 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Najniže koncentracije izmerene su u uzorcima Vinča posle bistrenja (nije detektovan) i Makiš posle bistrenja ($0,17 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) (tabela 2). Očigledno je da tokom procesa taloženja dolazi do izdvajanja ovog elementa iz vode.

Dugotrajna izloženost povišenim koncentracijama nikla izaziva gubitak telesne mase, oštećenja srca, jetre i dermatitis [12]. Analizom rezultata merenja sadržaja nikla u uzorcima uočeno je da nema većih odstupanja

koncentracije ovog teškog metala, koja se nalazi u relativno uskom opsegu, od 1,29 do $3,64 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najniža koncentracija bila je u uzorku Banovo brdo, sirova voda (uzorak 10), a najviša u vodi za piće iz pogona Bele vode, uzorak 3 (tabela 2).

Bakar se smatra esencijalnim elementom sa potrebnim unosom od 1 do 5 mg/dan, ali povećan unos može biti toksičan [14]. U većini analiziranih uzoraka koncentracija bakra je bila oko $5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ i niža od ove vrednosti. Najviša koncentracija bila je u uzorku iz Proizvodnog pogona Bele vode, a zatim u uzorku Vinča posle bistrenja (slika 2). U pijaćoj vodi iz pogona Bele vode i Vinča, u kojima se dodaje CuSO_4 kao fungicid, takođe se ističe viši sadržaj bakra u odnosu na ostale uzorke. On se najčešće primenjuje kod otvorenih taložnika, kakvi se nalaze u ovim pogonima, koji su direktno izloženi sunčevoj svetlosti, što pogoduje pojavi i rastu algi. U svim uzorcima podzemnih sirovih voda koncentracija bakra je prilično niska, tako da se ni po fazama prerade ne primećuje znatnije variranje koncentracije bakra.

Cink je esencijalni mikroelement koji se nalazi u vodi i u hrani u obliku soli ili organskih kompleksa. Iako koncentracija cinka u površinskim i podzemnim vodama obično ne prelazi 10, odnosno $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, koncentracija cinka u česmenskim vodama može biti mnogo viša, zbog rastvaranja cinka iz materijala od koga su napravljene cevi i ventili [10]. Konzumiranje vode sa koncentracijom cinka preko MDK vrednosti [9] može da dovede do akutnog trovanja koje se manifestuje groznicom, povraćanjem, mučninom, grčevima u stomaku, dijarejom [15]. Koncentracije cinka u ispitivanim uzorcima vode bile su u opsegu od 0,42 do $18,59 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najniže koncentracije bile su u sirovim podzemnim vodama ($0,42$ do $1,22 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), dok je najviša koncentracija bila u uzorku Vinča posle bistrenja, uzorak 12 (tabela 2). U uzorku sirove rečne vode Makiš-Sava (uzorak 4) sadržaj cinka je bio čak tri puta viši ($14,79 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) nego u sirovim rečnim vodama pogona Bele vode (voda reke Save) i pogona Vinča (voda reke Dunav), gde je koncentracija bila oko $5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Arsen je toksičan element koji izaziva oboljenja kože, jezika, jetre i rak bubrega [16]. Koncentracija arsena u najvećem broju uzoraka je bila ispod $1,5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Međutim, uočen je povišen sadržaj arsena u sirovim podzemnim vodama (Bele vode, sirova; Bežanija, sirova i Banovo brdo, sirova) (slika 1), u odnosu na rečne sirove vode Save (Sava Bele vode, Makiš-Sava) i Dunava (Vinča, sirova). Pretpostavlja se da arsen u podzemnim vodama potiče iz samih zemljišnih slojeva kroz koje voda prolazi. Neophodno je istaći da se procesom obrade ovih voda koncentracija arsena snižava, tako da je u pijaćim vodama iz svih pogona koji koriste podzemnu vodu bila niža od $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, koliko je propisano zakonom regulativom Republike Srbija [9].

Kadmijum oštećuje bubrege, a u vodi se javlja usled erozije pocinkovanih cevi, emisijom iz rafinerija, izluživanjem iz opasnog otpada koji sadrži baterije i boje, ali i iz prirodnih izvora [12]. Sadržaj kadmijuma je u većini uzoraka bio niži od $0,1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najviša koncentracija izmerena je u uzorku vode Makiš, pijaća ($0,31 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), a najniža je bila ispod granice detekcije instrumenta u uzorku Makiš, posle bistenja ($< 0,01 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). Takođe, uzorak Banovo brdo, sirova voda, ima nešto povišen sadržaj kadmijuma ($0,21 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), u poređenju sa ostalim uzorcima (tabela 2).

Akutna izloženost barijumu dovodi do gastrointestinalnih, neuromišićnih i kardioloških efekata kod životinja i ljudi [11]. Koncentracije barijuma u ispitivanim uzorcima variraju od 2,6 do $144 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Sirove podzemne bunarske vode, Bele vode, sirova, Bežanija sirova i Banovo brdo, sirova, imaju znatno više koncentracije od ostalih sirovih voda, a nalaze se u opsegu od 93,4 do $144 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Sa druge strane, sadržaj barijuma u rečnoj vodi je bio između 7,4 i $16,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (tabela 2). U pijaćoj vodi iz pogona u kojima se prerađuje podzemna voda, koncentracija barijuma u vodi za piće je nešto niža od koncentracije u podzemnoj vodi. U pogonu Bele vode mešaju se rečna i izvorska voda, tako da je sadržaj barijuma u izlaznoj vodi jednak srednjoj vrednosti njegovih koncentracija u uzorcima Sava bele vode i Bele vode, sirova.

Olovo u vodi za piće može da potiče od olovnih cevi koje su ranije bile u upotrebi. Deluje kao kumulativni otrov koji može da utiče na centralni nervni sistem. Istraživanja pokazuju da izlaganje olovu može uticati na inteligenciju, izaziva poremećaje u mentalnom razvoju dece, visok krvni pritisak kod odraslih. Visoke koncentracije olova mogu uzrokovati zastoj rada bubrega, spontane pobačaje i povećanje smrtnosti dece [10]. Zato je sadržaj olova od velikog značaja kada je kvalitet vode za piće u pitanju. Koncentracije olova u svim uzetim uzorcima nalazile su se u opsegu od 0,17 do $2,2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. U rečnim sirovim vodama je sadržaj olova bio od 0,87 do $1,27 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a u podzemnim 0,19 do $0,33 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Najviša koncentracija bila je u uzorku 13, Vinča

posle bistenja (tabela 2).

U tabeli 3 prikazani su koeficijenti korelacije elemenata čije su koncentracije određivane u uzorcima sirove vode iz Javno komunalnog preduzeća Beogradski vodovod i kanalizacija. U analizu nisu bili uključeni aluminijum, hrom i kadmijum jer su njihove koncentracije u nekim uzorcima sirovih voda bile ispod granice detekcije instrumenta. Na osnovu vrednosti koeficijenata korelacije dobijenih za bor, mangan, arsen i barijum i njihovih koncentracija izmerenih u sirovim vodama, može se zaključiti da su verovatno prirodnog porekla. Neophodno je istaći da je koncentracija nikla bila niska u svim ispitivanim uzorcima, iako je poznato da je zemljište u Beogradu i okolini obogaćeno niklom [17]. Uočena je korelacija nikla sa kobaltom, dok cink nije bio u značajnijoj korelaciji ni sa jednim elementom. Olovo i bakar su u međusobnoj korelaciji, što može da ukaže na njihovo zajedničko, verovatno antropogeno poreklo.

U tabeli 4 prikazani su rezultati sličnih ispitivanja rađenih u raznim zemljama. Takođe su date i koncentracije ispitivanih elemenata u uzorcima vode iz pogona Beogradskog vodovoda i kanalizacije.

Pojedine relativno visoke koncentracije teških metala u vodi za piće u Toskani, Italija, potiču od metalurških i rudničkih kompleksa, koji se nalaze u blizini vodnih resursa, kao i zbog visokog sadržaja minerala koji su praćeni pojedinim teškim metalima, što je posledica geohemijskog porekla vode [18].

U Crnomorskom regionu Turske, u gradu Jozgat, voda za piće je analizirana atomskom apsorpcionom spektrometrijom. Koncentracije hroma, bakra, mangana, nikla i cinka dobijene u ovom ispitivanju [19] značajno su niže od standarda koji je propisan od strane Svetske zdravstvene organizacije (WHO) [10].

Statističkom analizom uzoraka vode u Kairu, Egipat, pokazano je da postoji značajna varijacija kod koncentracija olova, kadmijuma i bakra pre i posle tretmana vode [20]. Tretman je konvencionalni i sastoji se od koagulacije, taloženja i filtracije. Kadmijum ima najveći procenat uklanjanja i putem koagulacije, kao i filtracijom, dok se bakar bolje uklanja filtracijom. Olovo i

Tabela 3. Koeficijenti korelacije elemenata u ispitivanim uzorcima voda
Table 3. Correlation coefficients of elements in the tested water samples

Element	^{11}B	^{55}Mn	^{59}Co	^{60}Ni	^{63}Cu	^{66}Zn	^{75}As	^{137}Ba	^{208}Pb
^{11}B	1	0,96	0,62	0,11	-0,83	-0,76	0,86	0,99	-0,89
^{55}Mn		1	0,39	-0,17	-0,92	0,12	0,94	0,94	-0,95
^{59}Co			1	0,84	-0,11	-0,35	0,33	0,61	-0,25
^{60}Ni				1	0,40	0,12	-0,22	0,11	0,28
^{63}Cu					1	0,65	-0,81	-0,84	0,98
^{66}Zn						1	-0,72	-0,76	0,62
^{75}As							1	0,79	-0,87
^{137}Ba								1	-0,89
^{208}Pb									1

Tabela 4. Koncentracije odabranih teških metala u vodi za piće u raznim zemljama sveta i u Beogradu
 Table 4. Concentrations of selected heavy metals in drinking water throughout the world and in Belgrade

Lokacija (država, grad)	Koncentracija, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$							
	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	
Italija (Toskana) [18]	10,2	NR	19,4	35,5	58	20,4	56,1	
Turska (grad Yozgat) [19]	NR ^a	NR	0,17–1,19	0,15–2,56	< GD ^b	0,18–0,99	NR	
Egipat (Kairo) [20]	7,5	36,7	45	795,7	30,4	20,4	66,9	
Indija (nekoliko oblasti) [21]	1,21–39,62	NR	2,5–104,2	NR	NR	6,7–875	3,09–1.044	
Beograd	Sirova podzemna	0,04–0,21	< 0,21–0,49	0,39–0,83	273,9–312,8	1,29–2,21	0,19–0,33	0,42–1,22
	Sirova rečna	< 0,01–0,08	0,42–0,55	1,70–2,21	18,8–31,2	1,77–1,99	0,87–1,27	5,08–14,79
	Pijaća voda iz pogona;	0,08	0,16	2,15	0,89	1,42	0,40	2,61
	sirova: podzemna	0,11	0,35	4,03	1,26	1,44	0,43	4,44
	Pijaća voda iz pogona;	0,02–0,31	0,25–0,35	4,71–110,8	0,37–5,77	1,72–2,74	0,17–0,60	1,41–6,30
	sirova: rečna	0,13	0,23	179,7	3,68	3,64	0,59	3,35

^aNije rađeno; ^bgranica detekcije

bakar pokazuju uporedivo procentualno uklanjanje putem koagulacije.

U Indiji, u selima Okruga Džajpur, populacija se snabdeva vodom za piće iz bunara, uglavnom podzemnim vodama, a njen kvalitet je uslovljen geološkom strukturom zemljišta. Sadržaj cinka i bakra je bio ispod preporučene nivoa, ali su koncentracije kadmijuma i olova značajno prevazilazile MDK [21].

U Nepal, u dolini Katmandu, takođe je rađena analiza teških metala u vodi za piće metodom ICP-MS i bili su obuhvaćeni sledeći metali: nikl, bakar, cink, galijum, arsen, olovo, kadmijum, barijum i živa. Ni jedan ispitivani uzorak vode ne prelazi graničnu vrednost za koncentraciju arsena Nepalskog Standarda za kvalitet vode (Nepal Water Quality Standard) koja iznosi $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ [22]. Pojava arsena u vodi može da bude indikator industrijskog zagađenja, ali često i posledica visokih koncentracija arsena u podzemnim vodama u prirodnom obliku.

Poređenjem podataka opisanih istraživanja sa sadržajem ispitivanih elemenata u uzorcima vode iz Javno komunalnog preduzeća Beogradski vodovod i kanalizacija (tabela 4) očigledno je da je uglavnom u vodi iz Beograda, u svim uzorcima, sadržaj ispitivanih elemenata bio najniži. Zahvaljujući tome što su sirove vode dobrog kvaliteta i što se procesi obrade vode odvijaju pod optimalnim uslovima (dodavanje sredstava za koagulaciju i algicida) kvalitet pijaće vode, sa aspekta sadržaja ispitivanih elemenata je veoma dobar; ni u jednom uzorku nije prekoračena maksimalno dozvoljena koncentracija prema zakonskoj regulativi Republike Srbije [9].

ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitivane su vode sa četrnaest tačaka u Javno komunalnom preduzeću Beogradski vodovod i

kanalizacija, tako da su bili obuhvaćeni proizvodni pogoni, voda sa crpnih stanica i rezervoari.

Uočeno je da se sadržaj pojedinih elemenata znatno razlikuje u rečnim i podzemnim vodama: koncentracija bora u rečnim vodama je dva do tri puta niža od koncentracije u podzemnim vodama; koncentracija aluminijuma u svim uzorcima podzemne sirove vode je bila ispod granice detekcije instrumenta ($0,50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), dok je u rečnoj vodi sadržaj aluminijuma bio oko $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; koncentracija mangana u rečnim sirovim vodama je bila i do 10 puta niža od koncentracije u podzemnim vodama.

Koncentracije kobalta, nikla, bakra, kadmijuma, olova i hroma u većini uzoraka sa pogona za preradu vode u Beogradskom vodovodu i kanalizaciji su bile niske i sa malim stepenom varijacije. Koncentracija arsena u najvećem broju uzoraka je bila ispod $1,5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a u rečnim vodama koje se koriste kao sirova voda, još niža, oko $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Koncentracije barijuma u ispitivanim uzorcima variraju od 2,6 do $144 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

Koeficijenti korelacije su određeni za odabrane elemente (sem aluminijuma, hroma i kadmijuma) u sirovim vodama. Na osnovu izvršenih analiza sirovih voda i vrednosti koeficijenata korelacije može se zaključiti da su bor, mangan, arsen i barijum, verovatno, prirodnog porekla. Uočena je korelacija nikla sa kobaltom, dok cink nije bio u značajnijoj korelaciji ni sa jednim elementom. Olovo i bakar su u međusobnoj korelaciji, što može da ukaže na njihovo zajedničko antropogeno poreklo.

Neophodno je istaći da su u svim uzorcima vode za piće koncentracije ispitivanih elemenata bile niže od zakonom propisanih maksimalno dozvoljenih koncentracija.

Zahvalnica

Istraživanja su realizovana u okviru naučnog projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, broj 142002.

LITERATURA

- [1] V. Rekalic, Analiza zagađivača vazduha i vode, TMF, Beograd, 1998.
- [2] Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2007, Agencija za zaštitu životne sredine, Republika Srbija, Beograd, 2008.
- [3] M. Cvjetković, Razvoj i reforme od 2000–2008, JKP BVK, Beograd, 2008.
- [4] Ž. Fiket, V. Roje, N. Mikac, G. Kniewald, Determination of arsenic and other trace elements in bottled waters by High resolution inductively coupled plasma mass spectrometry, *Croat. Chem. Acta* **80** (2007) 91–100.
- [5] A.A. Perić-Grujić, V.V. Pocajt, M.Đ. Ristić, Određivanje sadržaja teških metala u čajevima sa tržišta u Beogradu, Srbija, *Hem. Ind.* **63** (2009) 433–436.
- [6] SRPS ISO 5667-5:2008, Kvalitet vode - Uzimanje uzoraka - Deo 5: Smernice za uzimanje uzoraka vode za piće iz postrojenja za obradu vode i iz sistema za distribuciju.
- [7] SRPS ISO 5667-6:1997, Kvalitet vode - Uzimanje uzoraka - Deo 6: Smernice za uzimanje uzoraka iz reka i potoka.
- [8] SRPS ISO 5667-11:2005, Kvalitet vode - Uzimanje uzoraka - Deo 11: Smernice za uzimanje uzoraka podzemnih voda.
- [9] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Službeni list SRJ, 42/98, 144/99.
- [10] WHO, Guidelines for drinking water quality, 3rd ed., incorporating the first and second addenda. Volume 1, Recommendations, World Health Organization, Geneva, 2008.
- [11] B. Dalmacija, J. Agbaba, Kontrola kvaliteta vode za piće, PMF, Departman za hemiju, Novi Sad, 2006.
- [12] <http://www.epa.gov/safewater/> (2010)
- [13] J. De Zuane, Handbook of Drinking Water Quality, 2nd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 1997.
- [14] R. Gong, D. Zhang, K. Zhong, M. Feng and X. Liu, Determination of trace copper in water samples by flame atomic absorption spectrometry after preconcentration on a phosphoric acid functionalized cotton chelator, *J. Serb. Chem. Soc.* **73** (2008) 249–258.
- [15] Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc, Washington DC, National Academy Press, 2001.
- [16] M. Simonić, Removal of inorganic As⁵⁺ from a small drinking water system, *J. Serb. Chem. Soc.* **74** (2009) 85–92.
- [17] D. Crnković, M. Ristić, D. Antonović, Distribution of heavy metals and arsenic in soils of Belgrade (Serbia and Montenegro), *Soil Sediment Contam.* **15** (2006) 581–589.
- [18] G. Tamasi, R. Cini, Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy), Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena, *Sci. Total Environ.* **327** (2004) 41–51.
- [19] M. Soyulak, F.A. Aydin, S. Saracoglu, L. Elci, M. Dogan, Chemical analysis of drinking water samples from Yozgat, Turkey, *Pol. J. Environ. Stud.* **11** (2002) 151–156.
- [20] M.R. Larsheen, G. El-Kholy, C.M. Sharaby, I.Y. Elsherif, S.T. El-Wakeel, Assessment of selected heavy metals in some water treatment plants and household tap water in Greater Cairo, Egypt, *Environ. Qual. Manag.* **19** (2008) 367–376.
- [21] P. Jain, J.D. Sharma, D. Sohu, P. Sharma, Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District, *Int. J. Environ. Sci. Tech.* **2** (2006) 373–379.
- [22] N. Warner, J. Levy, K. Harpp, F. Farruggia, Drinking water quality in Nepal Kathmandu Valley: A survey and assessments of selected controlling site characteristics, *Hydrogeol. J.* **16** (2008) 321–334.

SUMMARY

ANALYSIS OF SELECTED ELEMENTS IN WATER IN THE DRINKING WATER PREPARATION PLANTS IN BELGRADE, SERBIA

Davor Z. Antanasijević¹, Nataša A. Lukić², Viktor V. Pocaajt¹, Aleksandra A. Perić-Grujić¹, Mirjana Đ. Ristić¹

¹*Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

²*Water Supply and Sewage of Belgrade, Belgrade, Serbia*

(Professional paper)

Belgrade's water supply relies mainly on the River Sava and groundwater supply wells, which are located in the vicinity of the river and Ada Ciganlija. In this paper, the contents of aluminum, boron, chromium, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc, arsenic, cadmium, barium and lead were analyzed in raw water as well as drinking water distributed by the Water Supply and Sewage of Belgrade. A total of 14 samples were examined from all water treatment plants that are part of the distribution system. The measurements were conducted using the inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) technique. The aim of this research was to examine the effectiveness of the drinking water preparation process in the plants belonging to the Water Supply and Sewage of Belgrade. The content of certain elements varies considerably in raw water (river and groundwater): the concentration of boron in river water is two to three times lower than the concentration in groundwater; the concentration of arsenic in river water is ten to twenty five times lower than the concentration in groundwater; the concentration of aluminum in all groundwater samples was below the detection limit of the instrument ($0.50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$), whilst in the river water the content of aluminum was about $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ and the concentration of manganese in the river water was up to 10 times lower than the concentrations in groundwater. In all drinking water samples the concentration of the elements were below the maximum allowed levels according to the Serbian regulations. Correlation coefficients determined for boron, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc, arsenic, barium and lead, which were analyzed in raw waters, show that four groups of elements can be distinguished. Boron, manganese, arsenic and barium are related to each other and probably have a common natural origin; copper and lead probably have a common anthropogenic origin; correlation of nickel and cobalt was observed, while zinc was not in correlation with any other element.

Keywords: Drinking water • Trace elements • Belgrade • ICP-MS