

PROCENA POTENCIJALNOG ZDRAVSTVENOG RIZIKA USLED
PRISUSTVA TOKSIČNIH METALA U VODI ZA PIĆE IZ INDIVIDUALNIH
BUNARA U SELU DUBRAVICA U BRANIČEVSKOM OKRUGU

Miloš B. Rajković^{1*}, Mirjana D. Stojanović² i Slađana R. Milojković³

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet,
Nemanjina 6, Beograd-Zemun, Srbija

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

³Poljoprivredna škola „Sonja Marinković”, Ilije Birčanina 70, Požarevac, Srbija

Rezime: Da bi se proverio sadržaj makro- i mikroelemenata u vodi za piće u selu Dubravica u Braničevskom okrugu, koje nema centralizovan vodovodni sistem, izvršena je analiza voda koje su uzorkovane iz dva individualna bunara, indirektnom metodom preporučenom od strane Rajkovića i saradnika. Ispitivanja su pokazala da se: Al, Fe, Cr, Pb i U nalaze u koncentracijama višim od MDK vrednosti dozvoljene Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće. Da bi se utvrdila opasnost od prisustva toksičnih metala u povišenoj koncentraciji urađena je procena kratkoročnog i dugoročnog potencijalnog kancerogenog rizika. Na osnovu rezultata ispitivanja koji su dobijeni za ispitivane uzorke vode, ne postoji potencijalni kratkoročni kancerogeni rizik po zdravlje ljudi. Na osnovu rezultata dobijenih za dugoročni potencijalni rizik za pojavu i razvoj kancerogenih oboljenja, kod stanovnika sela koji koriste vodu za piće I uzorka izražen je rizik za nastajanje kancera od Cr. U slučaju Pb, rizik od pojave kancera u slučaju I uzorka vode za piće javlja se kod 44 od 1000 stanovnika, a u slučaju II uzorak kod 183 od 1000 stanovnika. Na osnovu izračunate procene dugoročnog zdravstvenog rizika od prisustva U u vodi za piće zapaža se da u slučaju konzumiranja oba uzorka vode postoji potencijalni rizik od nastajanje kancera: u slučaju I uzorka vode kod 24,5 stanovnika, a u slučaju II uzorka 10,3 stanovnika od 1000 stanovnika.

Ključne reči: voda za piće, makroelementi, mikroelementi, kratkoročni i dugoročni zdravstveni rizik, toksični metali.

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

Uvod

Hemijske supstance koje se nalaze u vodi za piće podeljene su na organske i neorganske supstance, a kao posebna grupa se izdvajaju pesticidi, dezinfekciona sredstva i sporedni proizvodi dezinfekcije.

Sa aspekta uticaja na zdravlje, hemijske supstance mogu se podeliti na:

1. supstance čiji je unos u organizam poželjan, jer učestvuju u mnogim oksido-redukcionim i metabolitičkim procesima u organizmu;
2. supstance koje na organizam deluju toksično, ukoliko se u vodi za piće nađu u većim količinama od dozvoljenih;
3. supstance koje mogu imati kancerogeno dejstvo na organizam.

Za toksične i kancerogene supstance u vodi za piće neophodno je znati njihove granične vrednosti ispod kojih se neće ispoljiti negativni efekti na zdravlje. Kako je do sada u vodi za piće identifikovano više od 1000 hemijskih supstanci organskog i neorganskog porekla, nije moguće da se za svaku od njih odrede preporučene granične vrednosti, pa se stoga pri određivanju hemijskih supstanci za koje se izračunavaju preporučene granične vrednosti polazi od dva osnovna kriterijuma: 1. relativno česta pojava u vodi za piće u značajnim koncentracijama i 2. prisustvo hemijskih supstanci koje su potencijalno opasne za ljudsko zdravlje.

Po preporukama SZO (Commission of EC, 1994; WHO, 1984) granične vrednosti za hemijske supstance u vodi za piće izračunavaju se na osnovu tolerišućeg dnevnog unosa i na osnovu relativne kancerogenosti za potencijalno kancerogene supstance. Izračunavanje graničnih vrednosti za hemijske supstance u vodi za piće na osnovu tolerišućeg dnevnog unosa, vrši se po formuli:

$$GV = \frac{TDI \cdot bW \cdot P}{C} \quad (1)$$

gde je: GV, preporučena granična vrednost (mgkg^{-1} ili μgkg^{-1}); TDI, tolerišući dnevni unos koji predstavlja procenjenu količinu supstance u hrani ili vodi izraženu na jedinicu telesne mase mgkg^{-1} ili μgkg^{-1} koja se svakodnevno konzumira tokom trajanja života bez rizika za zdravlje; bW, telesna masa (izražena u kg); P, deo prihvatljivog dnevnog unosa koji pripada vodi za piće. Upotrebljavaju se vrednosti u opsegu 1 do 100% u zavisnosti od stepena izloženosti preko hrane i vazduha; C, dnevno konzumiranje vode za piće, koje po preporukama SZO iznosi 2L za odrasle, 1L za dete do 10 kg telesne mase i 0,75L za dete do 5 kg telesne mase.

Tolerišući dnevni iznos se izračunava po formuli:

$$TDI = \frac{NOAEL \text{ ili } LOAEL}{UF} \quad (2)$$

gde je: NOAEL, nivo bez opaženih neželjenih efekata definisan kao najveća doza ili koncentracija hemijske supstance pri kojoj tokom opservacija i eksperimenata nisu opaženi neželjeni efekti na zdravlje; LOAEL, najniži opaženi

nivo neželjenih efekata definisan kao najniža doza ili koncentracija hemijske supstance pri kojoj su tokom eksperimenata i opservacija opaženi neželjeni efekti na zdravlje; UF, faktor nesigurnosti čija vrednost zavisi od prirode toksičnog efekta, obima i vrste populacije koju treba zaštititi, kvaliteta informacija o toksičnosti hemijske supstance i uvek se određuje od slučaja do slučaja. Ukupan faktor UF ne sme da prekorači 10.000, jer u protivnom dobijene vrednosti za TDI postaju u velikoj meri nepouzdana i netačne, tako da gube svaku verodostojnost. Za supstance u vodi za piće za koje vrednost faktora UF prelazi 1000, preporučene granične vrednosti se upotrebljavaju kao privremene (Knežević, 1995).

Grupa hemijskih elemenata pod nazivom „teški metali” je vrlo heterogena sa hemijskog, fiziološkog i ekološkog aspekta (Phipps, 1981). Termin „težak metal” se više od 60 godina koristi u hemiji i zaštiti životne sredine, a predložen je širok spektar značenja od strane različitih autora. Različita objašnjenja i klasifikovanja metala kao teških se sreću u literaturi, od kojih se neka zasnivaju na gustini metala, neka na atomskom broju ili atomskoj masi, a neka na hemijskim karakteristikama i toksičnosti metala (Duffus, 2002).

Osim toga, ovaj izraz se sve češće koristi i za toksične metale, tj. elemente koji ispoljavaju svoju toksičnost i pri niskim koncentracijama. Postoje četiri grupe elemenata od interesa za prehrambenu industriju, nauku i nutricioniste: 1. esencijalni za ljude (Cu, Ca, Fe, K, Mg); 2. esencijalni za biljke i jednu ili više životinjskih vrsta, ali ne i za čoveka (As, Cd, Ni), 3. toksični ili sa terapijskom upotrebom (Al, Ba, Hg) i 4. teški metali koji deluju isključivo toksično i nisu biogeni (Cd, Pb, Hg).

Toksični metali ne mogu da se unište i iščeznu, mogu samo da se rastvore, a da zatim nastave svoj put i premeste iz jedne sredine koju su zagađivali u neku drugu i da tako uđu u biološki lanac ishrane. Toksični metali se tako mogu pronaći na onim površinama gde ih ranije nije bilo, ali je nemoguće pretpostaviti da li bi u tom slučaju njihove koncentracije bile iznad ili ispod propisanih granica (Harvey, 2000; Mao et al., 1995; Rajković, 2002).

Aluminijum nije bitan za rad živih ćelija, ali je u većim količinama štetan po zdravlje ljudi. Američka Uprava za hranu i lekove (engl. Food and Drug Administration [FDA ili USFDA]) klasifikovala je Al kao GRAS (engl. Generally Regarded As Safe), generalno prepoznat kao bezbedan (za upotrebu), iako postoji veliki broj studija koje su pokazale vezu između unošenja Al i neurološke demencije kod bubrežnih bolesnika. Studije iz poslednjih 10–15 godina, inače perioda kada se „zvanično” prestalo sa posmatranjem Al kao toksičnog, pokazuju loš uticaj Al na ljudsko zdravlje. Studije posebno naglašavaju njegovo učešće kod Alchajmerove bolesti, Parkinsonove bolesti i amiotropne lateralne skleroze (Lu Gerigova bolest), jer se smatra da je Al jedan od etioloških činilaca. Njegov patofiziološki mehanizam nije potpuno razjašnjen, ali je kod bolesnika uočen mnogo viši sadržaj Al u mozgu nego kod zdravih osoba. Al³⁺ se najverovatnije

vezuje, preko fosfatnih i –OH grupa za DNK i RNK stvarajući aluminijsko-proteinske komplekse sa nukleinskim kiselinama. Rezultat toga je kompromitovana genska modulacija, transkripcija i sinteza proteina. Takođe, Al^{3+} ometa katalitičku aktivnost heksokinaze, smanjuje enzimsku aktivnost ATP, aktivnost koja reguliše membranski transport K^+ i Na^+ (jonska pumpa).

Al^{3+} se vezuje za albumine plazme (~80%) verovatno na istom mestu na kome se vezuje i Ca^{2+} . Eliminise se iz organizma urinom i fecesom. Resorpcija Al u gastrointestinalnom traktu čoveka (pod normalnim uslovima) procenjuje se na 0,1–0,3%, a skoro sav resorbovani Al je iz zdravog organizma ekskretovan urinom. Nakon resorpcije Al^{3+} se brzo eliminiše iz krvi u druge telesne tečnosti i pripremljen je za ekskreciju, ali kasnije se brzina eliminacije smanji.

Prema ulozi koju ima u organizmu, gvožđe pripada mineralnim supstancama, a prema količini u kojoj se nalazi u organizmu pripada grupi mikroelemenata. Fe u vodu najčešće dospeva iz zemljišta kroz koje protiče voda, tzv. primarno gvožđe, i najčešće se susreće kod voda poreklom iz reni-bunara i dubokih arteških bunara, ili cevi kroz koje voda protiče, tzv. sekundarno gvožđe. Dozvoljena koncentracija Fe u vodi za piće iznosi od $0,3 \text{ mgL}^{-1}$ do $0,45 \text{ mgL}^{-1}$ (Službeni list SRJ, br. 44/99), a povećana koncentracija u vodi nema direktnog uticaja na zdravlje ljudi, ali potpomaže razvoj Feruginoznih bakterija koje stvaraju neprijatan miris i ukus vode, a mogu dovesti i do začepjenja i prskanja cevi što omogućava sekundarno zagađenje vode.

Hrom se u vodi uglavnom nalazi u obliku soli, pri čemu soli Cr (VI) imaju veću rastvorljivost od soli Cr (III). Eksperimentalna istraživanja na životinjama su pokazala da je Cr (VI) toksičan i kancerogen (pripada 1. grupi kancerogena). Preporučena granična vrednost za Cr (VI) iznosi $0,05 \text{ mgL}^{-1}$, dok granična vrednost za Cr (III) nije određena. Međutim, u pravilniku se navodi samo *ukupni* Cr čija MDK vrednost za redovne prilike iznosi $0,05 \text{ mgL}^{-1}$ (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99). U organizam se najviše unosi hranom, dok vodom i vazduhom manje. Cr se uglavnom apsorbuje kroz gastrointestinalni trakt i u stanju je da prođe kroz ćelijsku membranu. Cr može da ošteti pluća, želudac, jetru i bubrege. Cr je sastojak mnogih enzima i spada u mikroelemente neophodne za život. Olakšava prelazak glukoze iz krvi u ćelije. Smanjuje potrebe za insulinom. Smanjuje rizik od infarkta pošto spušta nivo holesterola u krvi.

Olovo u vodu može dospeti iz lemljivih spojeva cevi, upotrebom vodovodnih cevi od Pb (koje se više ne ugrađuju, ali su i dalje u upotrebi u nekim naseljima ili delovima naselja), a količina Pb u vodi za piće može se smanjiti kontrolom korozije i podešavanjem vrednosti pH vode u sistemu za distribuciju.

Na osnovu novijih eksperimentalnih istraživanja, Pb i njegova neorganska jedinjenja svrstana su u 2. grupu kancerogena (WHO, 1994; Unterwood, 1987, Huges, 1972; Arena and Dorw, 1986), što znači da su verovatno kancerogena za čoveka, pa je granična vrednost od $0,05 \text{ mg/dm}^3$ smanjena na $0,01 \text{ mgL}^{-1}$. Pb

napada mozak, srce, pluća, želudac, jetru, bubrege i creva, a uz to izaziva oštećenje fetusa i anemiju.

Neorgansko Pb je za biljke manje toksično od bakra i jedinjenja žive. Većina beskičmenjaka koji žive pri dnu, kao i planktonskih vrsta, ne izvlači Pb ni iz hrane ni iz vode, i ono je za ove organizme manje toksično od Cu, Cd, Zn i Hg, ali je otrovnije od Ni, Co i Mn. Međutim, organska jedinjenja olova u velikim količinama u vode dospevaju iz veštačkih izvora. Uprkos činjenici da se organska jedinjenja Pb u vodi retko akumuliraju, treba naglasiti da su ona veoma otrovna i da predstavljaju određenu opasnost.

Uran se u prirodi nalazi kao smeša tri izotopa: uran-238, uran-235 i uran-234 čija rasprostranjenost u prirodi iznosi: 99,28%, 0,71% odnosno 0,006%. Svi uranovi izotopi su radioaktivni sa poluvremenom raspada: $^{238}\text{U} - 4,5 \cdot 10^9$ godina, $^{235}\text{U} - 7,07 \cdot 10^8$ godina i $^{234}\text{U} - 2,5 \cdot 10^5$ godina. Radioaktivnost urana može prouzrokovati probleme čovekovom organizmu, kao što je npr. kancer nekoliko godina po njegovom izlaganju, ali najveća opasnost preti od njegove hemijske toksičnosti, koja se manifestuje u veoma kratkom vremenu (nekoliko nedelja ili meseca) pri kontaktu sa njim. Toksičnost urana sastoji se od dva toksikološka mehanizma: prvi je neradijacioni, hemijsko-toksični, koji karakteriše teške metale kao što su: Pb, Hg, Cd i Bi, a drugi je jonizacioni, usled α -emisije, što karakteriše i ostale prirodne i veštačke radionuklide različitih emisija.

Rastvorni uran pokazuje istu hemijsku toksičnost kao i rastvorno Pb, ali je 20 puta otrovniji od rastvornog W. Zbog toga je koncentracija U u vodi za piće limitirana na $2 \mu\text{gL}^{-1}$ (0,002 ppm) (Domingo, 1995; Maynard, Down and Hodge, 1953). Uran vodi poreklo iz prirodnih izvora (Harmsten and Haan, 1980) ili je antropogenog porekla: iz različitih industrijskih grana, nekontrolisanom upotrebom organskih i mineralnih đubriva i pesticida i iz otpadnih muljeva. Migracioni potencijal U zavisi od fizičko-hemijskih svojstava zemljišta i zemljišnih rastvora i oksidacionih proizvoda U. Na mobilnost rastvorenih proizvoda urana, dominantno utiču pH vrednost, Eh i prisustvo kompleksirajućih organskih i neorganskih agenasa u lokalnim podzemnim vodama zemljišta.

Šestovalentni uran, U(VI), postoji u rastvoru kao uranil jon (UO_2^{2+}) koji je mobilniji od četorovalentnog urana, U(IV), jer lakše gradi rastvorne komplekse sa ligandima prisutnim u zemljišnim rastvorima. Transport rastvornih oblika urana može biti ubrzan razblaživanjem, pošto se time smanjuje njegova koncentracija u podzemnim i površinskim vodama. Ove reakcije uključuju jonsku izmenu i specifičnu adsorpciju urana organskim supstancama, mineralnim glinama, Fe(III) i hidroksida prisutnih u zemljištu (Stojanović et al., 2012).

Ispitivanje sadržaja teških metala u vodi za piće u Srbiji (Petrović et al., 2012) pokazala su da stanovnici naselja u kome postoji centralizovani vodovod piju vodu zadovoljavajućeg kvaliteta, ali i da postoje čitavi regioni u kojima je jako visoka koncentracija toksičnih metala. Podaci Instituta za javno zdravlje

Srbije „Dr Milan Jovanović Batut” za 2012. godinu pokazuju da je oko polovine uzoraka vode za piće iz centralizovanih vodovodnih sistema neispravno za piće.

Naša ispitivanja (Rajković et al., 2012; Milojković, 2014) potvrdila su da je u vodama za piće sadržaj pojedinih toksičnih metala viši od dozvoljenih, propisanih Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99) i Pravilnikom o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku i stonu vodu (Službeni list SCG, br. 53/05).

Zbog toga je osnovna namena rada da se ispitivanjem uzoraka vode za piće, uzetih iz individualnih bunara iz sela Dubravica na teritoriji grada Požarevca u Braničevskom okrugu, izvrši procena potencijalnog zdravstvenog rizika usled prisustva toksičnih metala u vodi za piće po stanovništvo naselja.

Materijal i metode

Selo Dubravica u kome je vršeno ispitivanje vode za piće nalazi se severozapadno od Požarevca na 75 m nadmorske visine na 44°41'13.8" severne geografske širine (N) i 21°4'21.6" istočne geografske dužine (E) u širem dunavskom priobalnom pojasu na teritoriji opštine Požarevac (Braničevski okrug).

Po morfološkim karakteristikama Dubravica je selo ravničarskog tipa i pripada podunavskim selima. Prema strukturi učešća aktivnih lica u primarnom sektoru delatnosti, Dubravica pripada mešovitom tipu seoskih naselja (učešće aktivnih lica 25–50%). Na osnovu geografskih odlika i razvojnih predispozicija pripada kategoriji moravskih naselja sa razvijenim osnovnim funkcijama za zadovoljenje dela (svako)dnevni potreba stanovnika. Snabdevanje vodom u naselju obezbeđuje se preko lokalnih vodovoda, dok se kanalisanje otpadnih voda pretežno vrši preko septičkih jama (Službeni glasnik grada Požarevca, 2012).

Za određivanje sadržaja toksičnih metala u vodi za piće korišćena je indirektna metoda određivanja elemenata u vodi za piće, predložena od strane Rajkovića i saradnika (Rajković et al., 2008a; Rajković et al., 2009). Ova metoda je odabrana zbog toga što su rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u vodi za piće standardnom metodom određivanja (upotrebom AAS) pokazali da se svi metali nalaze u tragovima, daleko ispod granice detekcije, što nije tačno. To se može najbolje videti na primeru Cd koji je u drugom uzorku vode na samoj granici MDK vrednosti, a standardnom metodom nije ni detektovan. Što se tiče Pb, standardnom metodom nije ni detektovan, a indirektna metoda je pokazala vrednosti Pb koje su daleko iznad MDK vrednosti (Milojković, 2014).

Uzorkovanje, metode ispitivanja i tumačenje rezultata urađeni su u skladu sa pravilnikom (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99; Laboratorijski priručnik, 2006). Uzorak I uzet je iz bunara u centru sela na udaljenosti od oko 2,5 km od reke Dunav, dok je II uzorak uzet iz bunara sa ulaza u selo iz pravca grada Požarevca

udaljen oko 1 km u odnosu na uzorak broj I, a oko 3,5 km od reke Dunav. Oba bunara su na dubini od 12 m.

Rezultati ispitivanja voda iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu prikazani su u našim prethodnim radovima (Rajković et al., 2015a; Rajković et al., 2015b). Analitičke metode i granica detekcije za sve ispitivane parametre prikazane su u tabeli 1 (EPA, 2009).

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

Pokazatelj	Merna jedinica	Analitička metoda	Granica detekcije	MDK vrednost
Amonijak	mgL ⁻¹	spektrofotometrijski	-	0,50
Boja	mgL ⁻¹ Pt/Co skale	spektrofotometrijski	-	20
Elektroprovodljivost	μS/cm pri 20°C	konduktometrijski	-	2500
Hloridi, kao Cl ⁻	mgL ⁻¹	jon-selektivna elektroda	0,01	250
Kolimorfne bakterije	broj/100 mL		-	0
pH vrednost	-	potenciometrijski	-	6,50–8,00
Miris	-	organoleptički	-	bez
Mutnoća	NTU jedinica	turbidimetrijski	-	4
Oksidativnost	mg O ₂ L ⁻¹	prema Kubel-Tiemannu		<8 mgL ⁻¹
Ukus	-	organoleptički	-	bez
Nitrati, kao NO ₃ ⁻	mgL ⁻¹	jonska hromatografija	0,01	0,5
Nitriti, kao NO ₂ ⁻	mgL ⁻¹	jonska hromatografija	0,01	0,005
Makroelementi	mgL ⁻¹	analiza kamenca pomoću AAS	0,01	*
Mikroelementi	mgL ⁻¹	analiza kamenca pomoću AAS	0,01	*
U	μgL ⁻¹	fluorimetrijski	0,0005	2
Temperatura vode	°C	živin termometar (u °C)	-	
Mineralizacija (180°C)	mgL ⁻¹	uparavanje na vodenom kupatilu	-	

Za ispitivanje voda korišćen je kamenac, koji se izdvaja na grejaču kućnog bojlera prilikom zagrevanja vode, a koji nastaje taloženjem neorganskih nevolatilnih supstanci koje se nalaze u vodi za piće, tokom dužeg vremenskog perioda. Pošto sastav kamenca potiče od prisustva neorganskih jedinjenja u vodi (Rajković et al., 2003), cilj ovih ispitivanja bio je da se određivanjem elementarnog sastava kamenca, utvrdi sadržaj toksičnih metala koji se nalaze u vodi za piće.

Sastav kamenca određen je upotrebom atomskog apsorpcionog spektrofotometra The Perkin-Elmer AAnalyst Model 300, prema standardu JUS B.B8.070 (metode ITNMS: DM 10 – 0/4, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 0/10, 0/11, 0/12, 0/13 i 0/17) (Rajković et al., 2007; Rajković et al., 2008; Rajković et al., 2008b).

Udeo elemenata, u obliku jedinjenja ili u elementarnom obliku, u % upoređen je sa maksimalno dopuštenim koncentracijama (MDK) neorganskih supstanci u vodi, koje su propisane Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99) i Pravilnikom o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku i stonu vodu (Službeni list SCG, br. 53/05).

Kvantitativni sadržaj urana određen je fluorimetrijskom metodom zasnovanoj na linearnoj zavisnosti intenziteta fluorescencije molekula uranovih jedinjenja od njihove koncentracije. Uticaj ometajućih (interferirajućih) parametara na intenzitet fluorescencije sveden je na najmanju moguću meru tehnikom „standardnog dodatka”, koja je sprovedena nakon ekstrakcije urana sa sinergističkom smešom TOPO (tri-n-oktil fosfin oksid)-etil-acetat. Intenzitet fluorescencije meren je pomoću Fluorimetra 26-000 Jarrel Ash Division (Fisher Scientific Company, Waltham, 1978) (ITNMS, 2004).

Rendgenska difrakciona analiza (RDA) izvršena je tako što je kamenac prethodno usitnjen i frakcija finog praha je dodatno proučena. Snimanje je izvršeno na fluorescentnom spektrometru EDXRF MiniPal 4 X-Ray.

Procena kratkoročnog i dugoročnog potencijalnog kancerogenog rizika

Kratkoročni rizik po zdravlje ljudi

Unos toksičnih elemenata i rizik po zdravlje ljudi, koji je uzrokovan 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):

$$PNU = \frac{PPV \cdot c \cdot 7}{PTM} \quad \text{i} \quad KR = \frac{PNU}{TNU} \quad (3)$$

gde su: PPV – prosečna potrošnja vode po stanovniku (1,5L dnevno) (Papić et al., 2012), c – koncentracija elemenata u ispitivanim uzorcima vode izražena u μgL^{-1} , PTM – prosečna telesna masa stanovnika koja iznosi 75,65 kg (Pavlica et al., 2010), a TNU je tolerantni nedeljni unos toksičnih metala izražen kao μgkg^{-1} telesne mase.

Pri proceni kratkoročnog rizika po ljudsko zdravlje smatra se da visok rizik postoji ukoliko je koeficijent rizika za neki element veći od 1 (Leung et al., 2008; Kostić et al., 2016a; Kostić et al., 2016b; WHO, 1998; WHO, 2011).

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 and Sun, 2015).

Kao parametri za procenu ovog tipa rizika, određeni su unos toksičnih elemenata oralnim putem (konzumiranjem vode za piće), U_{oral} , kao i koeficijent rizika izazvan oralnim unosom toksičnih elemenata, KR_{oral} , preko sledećih jednačina:

$$U_{oral} = \frac{PPV \cdot c \cdot 365 \cdot 30}{PTM \cdot 10950} \quad \text{i} \quad KR_{oral} = \frac{U_{oral}}{RfD_{oral}} \quad (4)$$

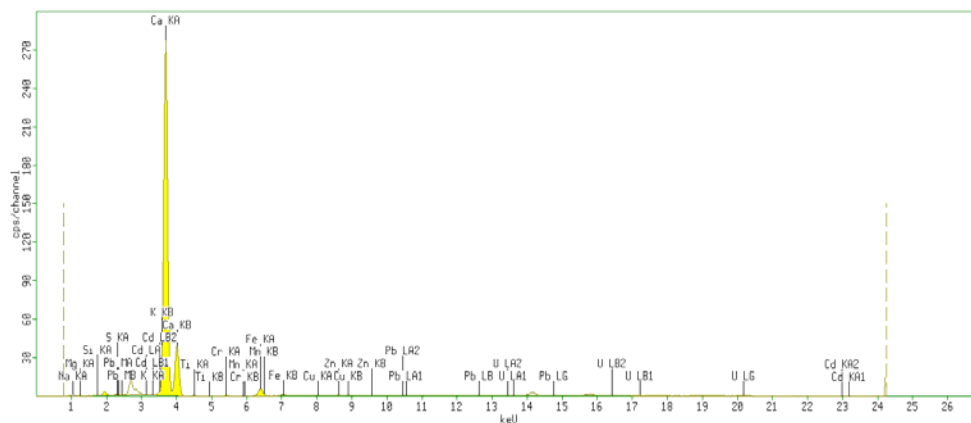
gde je RfD_{oral} – referentna vrednost za unos kancerogenih i potencijalno kancerogenih kontaminanata oralnim putem propisane od strane američke Agencije za zaštitu životne sredine EPA (Momot and Synzynyns, 2005; CHMP, 2007), dok su skraćenice PPV i PTM objašnjene kod kratkoročnog rizika po zdravlje ljudi.

Rezultati i diskusija

Rendgenska difrakciona analiza (RDA)

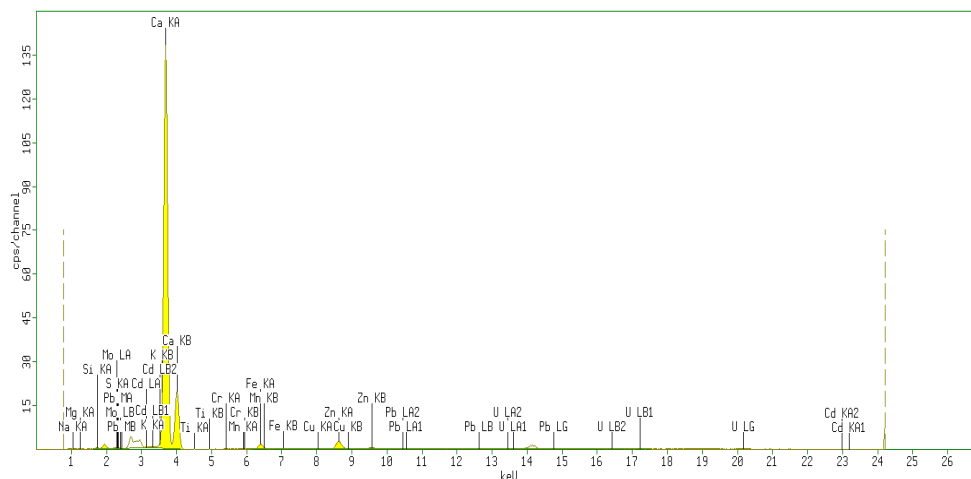
Difraktogrami ispitivanih kamenaca dokazali su prisustvo makro- i mikroelemenata nađenih AAS u kamencu (slike 1 i 2) (Rajković et al., 2015a; Rajković et al., 2015b).

Na difraktogramu je jasan pik koji ukazuje da se kalcijum nalazi u najvećem iznosu, ali da se u uzorcima vode nalazi i određeni broj makro- i mikroelemenata.



Slika 1. RDA difraktogram I uzorka kamenca.

Figure 1. RDA diffractogram of the first sample of limescale.



Slika 2. RDA difraktogram II uzorka kamenca.

Figure 2. RDA diffractogram of the second sample of limescale.

Uticaj prisustva toksičnih elemenata u vodi za piće na zdravlje ljudi

Na osnovu rezultata dobijenih ispitivanjem sadržaja makro- i mikroelemenata u analiziranim uzorcima vode (Rajković et al., 2015a; Rajković et al., 2015b), može se uočiti da je u nekoliko uzoraka zabeležena povećana koncentracija pojedinih elemenata u poređenju sa dozvoljenim vrednostima propisanim pravilnikom (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99), što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Koncentracija potencijalno toksičnih makro- i mikroelemenata (μgL^{-1}) u uzorcima vode za piće.

Table 2. The concentration of potentially toxic macro- and microelements (μgL^{-1}) in drinking water samples.

Uzorak	Al	Fe	Cr	Pb	U
I uzorak	50	1830	54,5	18,87	3,71
II uzorak	9,49	870	4,04	78,33	1,56
MDK	50	50	50	10	2

Procena kratkoročnog i dugoročnog potencijalnog kancerogenog rizika

Da bi se utvrdila opasnost od prisustva toksičnih elemenata u koncentracijama višim od vrednosti dozvoljene pravilnikom (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99), urađena je procena kratkoročnog (tabela 3) i dugoročnog potencijalnog kancerogenog rizika (tabela 4).

Tabela 3. Kratkoročni zdravstveni rizik izražen kroz tolerantni nedeljni unos (TNU), procenjeni nedeljni unos (PNU) i koeficijent rizika (KR) za odabrane toksične metale.

Table 3. Short-term health risk expressed through the tolerable weekly intake (TWI), estimated weekly intake (EWI) and risk coefficient (RC) for selected toxic metals.

Element	TNU (μgkg^{-1})	Uzorak			
		I		II	
		PNU	KR	PNU	KR
Al	7000	6,94	0,001	1,32	0,0002
Fe	5600	254	0,045	120,75	0,02
ukupni Cr	– *	–	–	–	–
Pb	25	2,69	0,105	10,87	0,435
U	0,6	0,515	0,858	0,216	0,361

*Nema dostupnih podataka.

Na osnovu rezultata koji su dobijeni za ispitivane uzorke vode za piće iz individualnih bunara iz sela Dubravica (I i II uzorak) (tabela 3), vidi se da je vrednost koeficijenta rizika po zdravlje manja od 1 za sve potencijalno toksične elemente koji su određeni u vodi za piće. Najveću opasnost za oba uzorka vode predstavlja Pb čija je vrednost za I uzorak 0,105 odnosno čak 0,435 za II uzorak.

Treba istaći da je KR za uran za I uzorak vode za piće svega 14,18% manji od granične vrednosti koeficijenta rizika ($KR = 1$), što ukazuje čak i na eventualnu kratkoročnu opasnost od prisutnog U u vodi za piće u slučaju ovog uzorka vode.

Na osnovu rezultata dobijenih za dugoročni potencijalni rizik za pojavu i razvoj kancerogenih oboljenja (tabela 4), mogu se uočiti razlike za ispitivane metale, u zavisnosti od procenjenog unosa oralnim putem, kao i propisanih referentnih vrednosti (RfD_{oral}) (ATSDR, 19997; EPA, 1989).

Kod stanovnika sela Dubravica koji koriste vodu za piće I uzorka izrazito je izražen rizik za nastajanje kancera od hroma. Pitanje je samo koji je hrom u pitanju, Cr(III) ili Cr(VI), koji se razlikuju po toksičnosti i kancerogenosti. Ukoliko se pretpostavi da se u oba uzorka hrom nalazi u obliku Cr(III), opasnost po zdravlje ljudi ne postoji, a ukoliko se pretpostavi da se radi o Cr(VI), u slučaju I uzorka vode opasnost postoji kod 360, a u slučaju II uzorka vode kod 27 od ukupno 1000 stanovnika. Kako u ovom radu nije utvrđen udeo Cr(III) odnosno Cr(VI) u ukupnoj masi Cr, može se uzeti realna pretpostavka da uticaj prisutnog Cr u vodi za piće ipak nije zanemarljiv i da zdravstveni rizik postoji.

Kada se radi o Pb, situacija je obrnuta. Rizik od pojave kancera u slučaju vode za piće (I uzorak) javlja se kod 44 od 1000 stanovnika, a u slučaju vode za piće (II uzorak) 4,16 puta više (kod 183 od 1000 stanovnika).

U slučaju Fe nije moguće odrediti dugoročni rizik s obzirom na to da se ovaj elemenat ne nalazi na listi potencijalno kancerogenih supstanci (EPA, 2009). Ova činjenica, međutim, ne opravdava povišenu koncentraciju Fe u ispitivanim uzorcima vode za piće iz individualnih bunara, u slučaju I uzorka 36,6 puta, a u slučaju II uzorka 17,4 puta više od MDK vrednosti predviđene pravilnikom (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99; Službeni list SCG, br. 53/05).

Tabela 4. Dugoročni zdravstveni rizik izražen kroz oralni unos (U_{oral}) i koeficijent rizika unosa oralnim putem (KR_{oral}) za odabrane toksične metale.

Table 4. Long-term health risk expressed through the oral intake (U_{oral}) and risk coefficient of oral input (RC_{oral}) for selected toxic metals.

Element	RfR _{oral} (mg/dan/kg)	Uzorak				
		I		II		
		U _{oral}	KR _{oral}	U _{oral}	KR _{oral}	
Al	– *	–	–	–	–	
Fe	– *	–	–	–	–	
ukupni Cr	Cr (III)	1,5	$1,08 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$8,01 \cdot 10^{-5}$	$5,34 \cdot 10^{-5}$
	Cr (VI)	0,003	$1,08 \cdot 10^{-3}$	0,36	$8,01 \cdot 10^{-5}$	0,027
Pb	0,0085	$3,74 \cdot 10^{-4}$	0,044	$1,55 \cdot 10^{-3}$	0,183	
U	0,003	$7,4 \cdot 10^{-5}$	0,0245	$3,1 \cdot 10^{-5}$	0,103	

*Ne postoji RfD_{oral} za Fe, s obzirom na to da nije potvrđeno postojanje kancerogenog rizika od strane EPA. Za Al ne postoje literaturni podaci, jer je FDA Al klasifikovala kao GRAS.

Na osnovu izračunate procene dugoročnog zdravstvenog rizika od prisustva urana u vodi za piće zapaža se da u slučaju konzumiranja oba uzorka vode postoji zdravstveni rizik. U slučaju I uzorka vode kod 24,5 stanovnika, a u slučaju II uzorka vode kod 10,3 stanovnika od 1000 stanovnika postoji potencijalni rizik od nastajanje kancera na osnovu prisutne koncentracije urana u vodi za piće u individualnim bunarima u selu Dubravica.

Pošto i Cr, Pb i U kao metu napada u čoveku imaju bubreg, moguća posledica je pojava hronične bubrežne insuficijencije (HBI) kod stanovništva. Zvanični podaci o zdravstvenom stanju stanovništva Braničevskog okruga ukazuju na konstantan broj obolelih i umrlih od HBI u periodu 2011–2014. godine koji se u proseku kreće oko 6,30%. Ovi podaci su u dobroj saglasnosti sa podacima dobijenim o zdravstvenom stanju stanovništva ove oblasti: stopa opšteg mortaliteta (18,39%), bolesti mokraćno-polnog sistema (7,74%), HBI (9,39%), pojava dijabetesa (26,61%) i porast endemske nefropatije (EN) (Zavod za javno zdravlje Požarevac, 2012).

Svi navedeni podaci ukazuju da i prisustvo ovih toksičnih metala može biti uzrok pojave HBI kod stanovništva Braničevskog okruga.

Zaključak

Ispitivanjem voda iz individualnih bunara iz sela Dubravica u Braničevskom okrugu indirektnom metodom, ispitivanjem kamenca, utvrđeno je prisustvo velikog broja makro- i mikroelemenata. Od prisutnih elemenata utvrđeno je da se: Al, Fe, Cr, Pb i U nalaze u koncentracijama koje su više od vrednosti dozvoljene Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće, tako da mogu da predstavljaju potencijalno toksične elemente po zdravlje stanovništva koji koriste ovu vodu za piće. Najveću opasnost za oba uzorka vode predstavlja Pb čija je vrednost za I uzorak 0,105 i 0,435 za II uzorak.

Treba istaći da je KR za uran za I uzorak vode za piće svega 14,18% manji od granične vrednosti koeficijenta rizika, što ukazuje čak i na eventualnu kratkoročnu (akutnu) opasnost od prisutnog urana u vodi za piće u slučaju ovog uzorka vode.

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, kao i propisanih RfD_{oral} vrednosti.

Kod stanovnika sela Dubravica koji koriste vodu za piće I uzorka izrazito je izražen rizik za nastajanje kancera od hroma. Ukoliko se pretpostavi da je u oba uzorka hrom u obliku Cr(III), opasnost po zdravlje ljudi ne postoji. Ukoliko pretpostavimo da se radi o Cr(VI), u slučaju I uzorka vode opasnost postoji kod 360, a u slučaju II uzorka vode kod 27 od ukupno 1000 stanovnika. Kako u radu nije utvrđen udeo Cr(III) odnosno Cr(VI) u ukupnoj masi Cr, može se uzeti realna pretpostavka da zdravstveni rizik od prisutnog Cr u vodi za piće postoji.

Rizik od pojave kancera, na osnovu koncentracije Pb u vodi za piće, u slučaju I uzorka javlja se kod 44 od 1000 stanovnika, a u slučaju II uzorka 4,16 puta više (kod 183 od 1000 stanovnika).

Koncentracija Fe u ispitivanim uzorcima vode za piće iz individualnih bunara, u slučaju I uzorka je 36,6 puta, a u slučaju II uzorka 17,4 puta više od MDK vrednosti predviđene pravilnikom, ali nije moguće odrediti dugoročni rizik s obzirom na to da se Fe ne nalazi na listi potencijalno kancerogenih supstanci (EPA, 2009).

Na osnovu izračunate procene dugoročnog zdravstvenog rizika od prisustva U u vodi za piće zapaža se da u slučaju konzumiranja oba uzorka vode postoji zdravstveni rizik. U slučaju I uzorka vode kod 24,5 stanovnika, a u slučaju II uzorka vode kod 10,3 stanovnika od 1000 stanovnika postoji potencijalni rizik od nastajanje kancera na osnovu prisutne koncentracije U u vodi za piće.

Ovi podaci su u dobroj saglasnosti sa podacima dobijenim o zdravstvenom stanju stanovništva ove oblasti.

Zahvalnica

Ovaj rad je raden 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

- Arena, J.M., & Dorw, R.H. (1986). *Poisoning*. Springfield: Charles C. Thomas, Publishers.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1997). Toxicological Profile: Uranium and Compounds DE-98/02, Department of Health and Human Services, Commission of the European Communities, 1994: Proposil for a COUNCIL DIRECTIVE Concerning The Quality of Water Intended For Human Consumption, Brussels.
- Domingo, J.L. (1995). Chemical Toxicity of Uranium. *Toxicology and Ecotoxicology News*, 2, 74-78.
- Duffus, J.H. (2002). Heavy metals – a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74, 793-807.
- 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, USA.
- Guideline on the specification limits for residues of metal catalysts or metal reagents* (2007). (pp. 28 -31). London: European Medicines Agency, Committee for medicinal products for human use (CHMP), from: http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2009/09/WC500003586.pdf.
- Harmsten, K.F., & De Haan, A.M. (1980). Occurrence and Behaviour of Uranium and Thorium in Soil and Water. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 28, 40-62.
- Harvey, D. (2000). *Modern Analytical Chemistry*. Boston: McGraw-Hill Book Company.
- Huges, N. (1972). *The Inorganic Chemistry of Biological Process*. London: John Wiley and Sons, Inc.
- Knežević, T. (1995). Hemijske kontaminirajuće materije u vodi za piće i procena uticaja na zdravlje ljudi. *Kvalitet vode za piće: Nove preporuke Svetske zdravstvene organizacije Evropske unije* (s. 30-40), Beograd: Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije.
- 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-Đorđević, 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 energetske kompleksa Kostolac*, (s. 91-94). Kostolac.
- Kvalitet voda. Laboratorijski priručnik* (2006). Beograd: Građevinski fakultet, Katedra za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo, from: <http://www.sraspopovic.com/Baza%20znanja%20dokumenti/Polj.i%20prehr/II%20razred/Praktikum%202010%20voda.pdf>.
- 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.
- Mao, Y. (1995). Inorganic components of drinking water and microalbuminuria. *Environmental Research*, 71, 135-140.

- Maynard, E.A., Down, W.L., & Hodge, H.C. (1953). Oral Toxicity of Uranium Compounds. In C. Voegtlin & H.C. Hodge (Eds), *Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds*, New York: McGraw-Hill Book Company.
- Milojković, S.R. (2014). *Fizičko-hemijska i mikrobiološka ispravnost vode za piće u seoskim naseljima na teritoriji grada Požarevca* (specijalistički rad). Zemun: Poljoprivredni fakultet.
- Momot, O., & Synzynys, B. (2005). Toxic aluminium and heavy metals in groundwater of Middle Russia: health risk assessment. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2, 214-218.
- Određivanje sadržaja urana fluorimetrijskom metodom DM 10-0/34* (2004). Beograd: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS).
- Papić, M., Ćuk, 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, T.M., Zlokuća, Mandić, 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, 107-122.
- Phipps, D.A. (1981). Effect of heavy metal pollution on plants: effects of trace metals on plant function. In N. Lepp (Ed.), *Chemistry and Biochemistry of Trace Metals in Biological Systems* (pp. 1-54). London and New Jersey,
- Rajković, M.B. (2002). *Hemija elemenata*. Zemun: 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., & Pantelić, G. (2007). Određivanje radioaktivnih elemenata u vodi za piće metodom indirektno analize na osnovu ispitivanja sastava kamenca. *XXIV simpozijum Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, (s. 3741). Zlatibor.
- Rajkovic, M.B., Lacnjevac, C., Ralevic, N.R., Stojanovic, M.D., Toskovic, D.V., Pantelic, G.K., Ristic, N.M., & 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., Stojanović, M., Lačnjevac, Č., Tošković, D., & Stanojević, D. (2008b). Određivanje tragova radioaktivnih supstanci u vodi za piće. *Zaštita materijala*, 49, 44-54.
- Rajković, M.B., Stojanović, M.D., & Pantelić, G.K. (2009). *Indirektna metoda određivanja elemenata u vodi za piće ispitivanjem kamenca*. Beograd: Savez inženjera i tehničara Srbije.
- Rajković, M.B., Sredović, 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, 783-794.
- Rajković, M.B., Stojanović, M., & Milojković, S. (2015a). Ispitivanje sadržaja teških metala u vodi za piće iz individualnih bunara iz sela Dubravica u Braničevskom okrugu. *Međunarodno savetovanje „Održivi razvoj Braničevskog okruga i energetske kompleksa Kostolac“*, (s. 164-171). Kostolac.
- Rajković, M.B., Stojanović, M., & Milojković, S. (2015b). Ispitivanje kvaliteta vode za piće iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu. *Zaštita materijala*, 56, 213-223.
- Republika Srbija, Zavod za javno zdravlje Požarevac (2012). *Analiza zdravstvenog stanja stanovništva Braničevskog okruga za 2012.godinu*. Požarevac, from: [http://www.javnozdravlje.com/UserFiles/javnozdravlje/File/Analiza zdravstvenog stanja Branicевского okruga 2012.pdf](http://www.javnozdravlje.com/UserFiles/javnozdravlje/File/Analiza%20zdravstvenog%20stanja%20Branicевского%20okruga%202012.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 RS (2013). *Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za prirodnu mineralnu vodu, prirodnu izvorsku vodu i stonu vodu*. Broj 43/2013.
- Službeni glasnik grada Požarevca (2012). *Prostorni plan grada Požarevca*. Broj 10/2012, from: https://pozarevac.rs/fajlovi/sluzbeni_glasnici/SG10_2012.pdf.
- Stojanović, M., Lačnjevac, Č., Lopičić, M., Rajković, M., & Petrović, M. (2012). Korozija i koroziono ponašanje osiromašenog uranijuma. U.Z. Gulušija i Č. Lačnjevac (urednici), *Korozija i zaštita materijala* (s. 223-261). Beograd: Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS) i Inženjersko društvo za koroziju.
- Unterwood, E.J. (1987). *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. New York, Academic Press.
- World Health Organization (1994). *IPCS Environmental Health Criteria 170; Assessing human health risk of chemicals: Derivation of guidance values for health-based exposure limits*. Geneva.
- World Health Organization (WHO) (1998). *Guidelines for Drinking-Water Quality. Addendum to Volume 2: Health Criteria and Other Supporting Information*. (p. 283). Geneva, WHO/EOS/98.1.
- World Health Organization (WHO) (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 4th ed. Geneva.
- Wu, J., & Sun, Z. (2015). Evaluation of shallow groundwater contamination and associated human health risk in aluvial plain impacted by agricultural and industrial activities. *Expo Health*. doi: 10.1007/s12403-015-0170-x.

Primljeno: 14. oktobra 2016.
Odobreno: 14. februara 2017.

POTENTIAL HEALTH RISK ASSESSMENT DUE TO THE PRESENCE OF
TOXIC METALS IN DRINKING WATER FROM INDIVIDUAL WELLS IN
THE VILLAGE OF DUBRAVICA IN THE BRANICEVO DISTRICT

Miloš B. Rajković^{1*}, Mirjana D. Stojanović² and Slađana R. Milojković³

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture,
Nemanjina 6, Belgrade-Zemun, Serbia

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

³Agricultural school „Sonja Marinkovic”, Ilije Birčanina 70, Požarevac, Serbia

A b s t r a c t

In order to verify the content of macro- and microelements in drinking water in the village of Dubravica in the Branicevo district, which has no centralized water supply system, an analysis of the water sampled from two individual wells was conducted using the indirect method recommended by Rajkovic and associates. Tests on the RDA and AAS showed that: Al, Fe, Cr, Pb and U were in concentrations higher than the values allowed by Regulations on the hygienic quality of drinking water. To determine the risk of the presence of toxic metals in the elevated concentrations, the assessment of short-term and long-term potential carcinogenic risks was conducted. Based on the results obtained in the tested water samples, it is noticed that the value of the coefficient of risk (CR) was less than 1 for all potentially toxic metals that were determined in drinking water, which implies that there is no short-term carcinogenic potential risk to human health. Based on the results of the long-term potential risk for the occurrence and development of cancer, the risk of getting cancer of Cr was identified in the inhabitants of the village that used potable water of the first sample. In case of Pb, a risk of developing cancer, concerning the first sample of drinking water, may occur in 44 out of 1000 people and regarding the second sample, in 183 out of 1000 people. Based on the calculated estimates of the long-term health risk related to the presence of U in drinking water, it can be seen that there is a health risk related to the use of both water samples. On the basis of the calculated estimates of the long-term health risk related to the presence of uranium in drinking water, it can be noticed that the use of both water samples may lead to the potential risk of developing cancer: in 24.5 inhabitants regarding the first water sample and in 10.3 out of 1000 inhabitants in the case of the second water sample.

Key words: drinking water, microelements, macroelements, short-term health risk, long-term health risk, toxic metals.

Received: October 14, 2016
Accepted: February 14, 2017

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