

Fizičko-hemijska i mikrobiološka ispravnost vode za piće u seoskim naseljima na teritoriji opštine Požarevac

Miloš B. Rajković¹,
Slađana Milojković¹,
Teodora Marjanović²,
Mališa Antić¹,
Miomir Nikšić¹,
Mirjana Stojanović³

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd,

²Zavod za javno zdravlje Požarevac, Požarevac,

³Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Beograd, Srbija

Rad primljen: 04.04.2014.

Kontakt adresa:

Profesor dr Miloš B. Rajković
Univerzitet u Beogradu
Poljoprivredni fakultet
Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju
Nemanjina 6, 11081 Beograd-Zemun, Srbija
TEL: (381-11)-2615-315
F: (381-11)-2199-711
e-mail: rajmi@agrif.bg.ac.rs

Kratak sadržaj: U seoskim naseljima na teritoriji grada Požarevca uzeti su uzorci vode za piće iz 10 seoskih naselja: Ostrovo, Petka, Kličevac, Maljurevac, Bubušinci, Bratinac, Dubravica, Batovac, Brežane, Živica. U svakom naselju uzeto je po 20 uzoraka vode iz individualnih bunara u domaćinstvima u različitim delovima sela.

U skladu sa Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće radila se analiza vode za piće koja je obuhvatila: miris, boju, pH vrednost, utrošak KMnO₄, mutnoću, nitrite, nitrate, amonijak, hloride, elektroprovodljivost, mikrobiološku ispravnost i sadržaj teških metala. Dobijeni rezultati analiza pokazali su da je u većini naselja voda za piće je u velikom procentu higijenski neispravna. Ispitivanja su pokazala da se % mikrobiološke ispravnosti u ispitivanim uzorcima vode kreće od 85% (selo Dubravica) do potpuno neispravne vode za piće. Fizičko-hemijska ispravnost vode za piće kretala se od 95% (selo Dubravica) do potpuno neispravne vode za piće (sela Petka, Lučica i Prugovo). Najčešći uzrok neispravnosti vode za piće su povišene vrednosti: nitrata, nitrita, zatim mutnoća od suspendovanih materija neorganskog porekla, boja vode kao posledica prisustva koloidno rastvorenih materija biljnog porekla, koncentracija Cl⁻ jona, prisustvo organskih materija u vodi za piće, povišene vrednosti elektroprovodljivosti i pH vrednost vode. U analiziranim uzorcima vode za piće u seoskim domaćinstvima koncentracija amonijaka je u dozvoljenim granicama, dok je sadržaj teških metala ispod maksimalno dozvoljene koncentracije, a u nekim slučajevima čak i ispod granice detekcije. Sadržaj urana u ispitivanim uzorcima vode pokazuju da je koncentracija urana u granicama prirodnih vrednosti.

Ključne reči: voda za piće, fizičko-hemijska ispravnost, mikrobiološka ispravnost, teški metali.

UVOD

Ispitivanje kontaminiranosti zemljišta, vode, vazduha, a time i hrane, opasnim i štetnim materijama postaje sve neophodnije sa povećanjem emisije zagađujućih materija iz industrijskih postrojenja, produkata sagorevanja fosilnih goriva u industriji, saobraćaju i domaćinstvima, povećanom hemizacijom u poljoprivredi i drugim antropogenim aktivnostima kojima se remeti osnovna funkcija zemljišta – proizvodnja zdravo bezbedne hrane.

Zdravstveno bezbedna voda za piće predstavlja osnovu zdravog življenja i jedan je od prioriteta u primarnoj zdravstvenoj zaštiti. Bezbednost podrazumeva mikrobiološki, fizičko-hemijski i radiološki ispravnu vodu, dovoljne količine vode i njenu kontinuiranu isporuku. Kvalitet podzemnih voda je promenljiv i zavisi od kvaliteta zemljišta, ali i od prodora kontaminiranih površinskih i atmosferskih voda u podzemne vode.

Poslednjih godina u poljoprivrednim krajevima i u naseljima bez kanalizacije dolazi do ubrzanog zagađivanja podzemnih voda materijama koje sadrže azot (amonijak, nitriti i nitrati) i mikroorganizmima [1], što može ozbiljno ugroziti zdravlje ljudi. Do kontaminacije podzemnih voda dolazi zbog prekomerne upotrebe mineralnih i prirodnih đubriva (u količinama koje biljke ne mogu da iskoriste), izgradnje propusnih septičkih jama, pretvaranja

starih bunara u septičke jame, odlaganja smeća, ispuštanja otpadnih voda, prekomerne upotrebe pesticida i zagađivanja vazduha.

Za procenu rizika po zdravlje od opasnih i štetnih hemijskih supstanci prisutnih u vodi za piće, neophodno je kontrolisati kvalitet vode za piće, pa je cilj ovog rada bio da se na teritoriji opštine Požarevac:

1. Analizira kvalitet vode za piće u seoskim domaćinstvima;
2. Dobijeni rezultati uporede sa preporukama važećeg Pravilnika Republike Srbije i Svetske zdravstvene organizacije (SZO);
3. Ispita zdravstvena ispravnost vode za piće u seoskim naseljima, i da, ukoliko se, uoče uzroci neispravnosti vode za piće u seoskim naseljima daju predlozi za preduzimanje kratkoročnih i dugoročnih mera za obezbeđenje zdravstveno ispravne vode.

METOD RADA

U periodu od novembra do decembra 2011. godine uziman je zahvaćen uzorak vode, uzorci su uzeti u 10 seoskih naselja na teritoriji opštine Požarevac koja nemaju centralno vodosnabdevanje. U svakom naselju uzeto je po 20 uzoraka vode iz individualnih bunara u domaćinstvima u različitim delovima sela. Za kontrolu uzoraka vode odabrana su

domaćinstva sa do 6 članova. Na lokalitetima gde je prisutan konstantan tok izvorišta, uzimani su uzorci vode u plastične boce od 5 dm³, pri čemu uzorci nisu konzervirani [2-4].

Uzorak bunarske vode zahvatan je kofom i prenet u ambalažu za uzorkovanje. Na izvorištima gde je bila ugrađena česma, najpre je voda isticala 5 minuta, a potom je uzet zahvaćen uzorak. Na samom mestu uzorkovanja merena je temperatura i provodljivost uzoraka vode [5].

Sela na kojima su uzorkovani uzorci vode su sa teritorije opštine Požarevac:

1. Ostrovo,
2. Petka,
3. Kličevac,
4. Maljurevac,
5. Bubušinac,
6. Bratinac,
7. Dubravica,
8. Batovac,
9. Brežane i
10. Živica.

Analiza vode obuhvatala je ispitivanje sledećih fizičko-hemijskih parametara: miris, boju, pH vrednost, utrošak KMnO₄, mutnoću, sadržaj nitrata,

amonijaka, hlorida, teških metala u vodi za piće, elektroprovodljivost i mikrobiološki pregled vode za piće [6].

Analitičke metode i granica detekcije za sve ispitivane parametre prikazane su u tabeli 1 [7], a detaljniji opisi same primenjene analitičke metode prikazan je niže.

Temperatura vode merena je živinim termometrom (u °C).

Određivanje suvog ostatka. Uparavanje 100 ml uzorka vršilo se na vodenom kupatilu do suvog, a zatim se ostatak u čaši sušio 8 sati u sušnici na 180°C. Posle hlađenja, čaša se merila na analitičkoj vagi.

Amonijak. Određivanje rastvorenog amonijaka [14]. Za određivanje rastvornog amonijaka korišćen je spektrofotometar UV-Visible Spectrophotometer Shimadzu UV-1650 PC. Radna talasna dužina iznosila je 425 nm.

Boja vode određena je platina-kobaltnom (Pt-Co) standardnom metodom (2-200 Pt-Co jedinica), poređenjem sa bojom standardnih rastvora pomoću kolorimetrijskog komparatora, ili spektrofotometrijski [8]. Pre merenja pH vrednost

Tabela 1. Analitičke metode primenjene u radu i njihova granica detekcije

Pokazatelj	Merna jedinica	Analitička metoda	Granica detekcije	MDK vrednost, prema Pravilniku [5,8]
Amonijak	mg/dm ³	Spektrofotometrijski sa Nessler-ovim reagensom (posle destilacije)		0,50
Boja	mg/dm ³ Pt/Co skale	spektrofotometrijski Metoda A: Kolorimetrijski pomoću Pt/Co skale	-	20
Elektroprovodljivost	μS/cm pri 20°C	konduktometrijski	-	2500
Hloridi, kao Cl ⁻	mg/dm ³	jon-selektivna elektroda, ISE	0,01	250
Kolimorfne bakterije	broj/100 cm ³			0
pH vrednost	-	potenciometrijski, ISE	-	6,50-8,00
Miris	-	organoleptički	-	bez
pH vrednost	-	potenciometrijski, ISE	-	6,50-8,00
Miris	-	organoleptički	-	bez
Mutnoća	NTU jedinica	turbidimetrijski Metoda A: Turbidimetrijski sa silikatnom zemljom Metoda B: Nefelometrijski prema standardnom formazinskom polimeru	-	4
Oksidativnost	mg O ₂ /dm ³	Potrošnja kalijum-permanganata, kuvanjem u kiseloj sredini titracijom prema Kubel-Tiemannu		do 8 mg/dm ³
Ukus	-	organoleptički	-	bez
Nitrati, kao NO ³⁻	mg/dm ³	IC	0,01	0,5
Nitriti, kao NO ²⁻	mg/dm ³	IC	0,01	0,005
Arsen, kao As	mg/dm ³	AAS Hidridna tehnika	0,01	0,01
Olovo, kao Pb	mg/dm ³	AAS	0,01	0,01
Kadmijum, kao Cd	mg/dm ³	AAS	0,01	0,003
U	μg/cm ³	fluorimetrijski	0,0005	0,05

vode podešena je na 7,60 pomoću 1 mol/l HCl (ili 1 mol/l NaOH). Za određivanje boje uzorka talasna dužina je podešena na 465 nm. Za određivanje boje vode minimalna potrebna zapremina uzorka vode bila je 6 l. Za određivanje boje korišćena je nefiltrirana dejonizovana voda.

Elektroprovodljivost. Merenja elektroprovodljivosti rađena su na WTW instrumentu za terensku multivarijantnu analizu. Uređaj je najpre kalibrisan pomoću standardnih rastvora za kalibraciju (provodljivosti od 814 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$) [9-12].

Hloridi. *Određivanje hlorid-jona obavljeno je jon-selektivnom elektrodom (ISE).* Sva potencijometrijska merenja su rađena na jon-metru tipa C863 (Consort, Belgija). Kao senzorska elektroda korišćena je kombinovana hlorid-selektivna elektroda (tip ISE24B).

Mikrobiološko ispitivanje vode za piće sastoji se u određivanju [13]:

1. Ukupnog broja koliformnih bakterija u 100 cm^3 (MPN metoda)
2. Ukupnog broja koliformnih bakterija fekalnog porekla u 100 cm^3 (MPN metoda)
3. Ukupnog broja svih živih bakterija u 1 cm^3

Određivanje ukupnog broja koliformnih bakterija u 100 cm^3 (MPN metoda) (bakterije rodova *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* i *Serratia*). Hranljive podloge: 1. Mc Conkey agar; 2. Laktoza andrade peptonska voda dvostruke koncentracije 10,50 cm^3 ; 3. Laktoza andrade peptonska voda obične koncentracije 5 cm^3 ; 4. Endo agar; 5. E.c.bujon 5 cm^3 ; 6. Podloge biohemijskog niza (Kliglerov dvostruki šećer, urea, citrate, peptonska voda, MR, VP). *Izvođenje ispitivanja:* Određivanja MPN-a se vrši u tri faze (ogleda): *prethodni, potvrdni i završni ogled.* *Krajnja identifikacija koliformnih bakterija* vrši se ispitivanjem biohemijskih karakteristika – IMVC ogled. Tipičnu koloniju sa Mc agara prebaciti na biohemijski niz šećera IMVC. Zasejani niz inkubirati na $37^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ za 24 h. Za obračunavanje MPN sa koriste se tabele za kolimetriju po Swaroop-u prema kojima je voda i zasejana.

Određivanje ukupnog broja koliformnih bakterija fekalnog porekla u 100 cm^3 (MPN metoda) (bakterije: *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* i *Serratia*). Hranljive podloge: Mac Concey bujon 5 cm^3 sa Durhamovom cevčicom. *Izvođenje ispitivanja:* Sve pozitivne epruvete iz prethodnog ogleda za ukupne koliformne bakterije (epruvete sa gasom, epruvete sa mutnoćom bez gasa) dobro promućkati. Iz kulture sterilnom ezom prečnika 4 mm preneti materijal u epruvetu sa Mac Concey bujonom. Ovo uraditi sa svim pozitivnim epruvetama iz pozitivnog prethodnog testa. Inkubirati u termostatu na $44^\circ\text{C}\pm 0,1^\circ\text{C}$ / 24h. U obračunu MPN-a koriste se tabele za kolimetriju po Swaroop-u prema kojima je voda zasejavana.

Izolovanje i identifikacija *Pseudomonas Aeruginosa*. Hranljive podloge: 1. King I podloga u epruvetama 16 x 160 mm; 2. Hloroform. *Izvođenje ispitivanja:* Pripremiti praznu sterilnu epruvetu u koju se prebacuje po 1 cm^3 tečne podloge iz prethodnog ogleda za ukupne koliformne bakterije kako bi se dobio zbirni uzorak za dokazivanje prisustva *Pseudomonas Aeruginosa*. Pre uzimanja 1 cm^3 kulture svaku pozitivnu epruvetu iz prethodnog ogleda, promućkati, preneti 1 cm^3 sadržaja u praznu epruvetu 16 x 160 mm, a zatim promućkati epruvetu u vortex mešalici. Ezu prečnika 4 mm uroniti na 0,5 cm ispod površine i preneti jednu kap na ukošeni King I podlogu u epruvetu.

Inkubirati u termostatu na $42^\circ\text{C}\pm 0,1^\circ\text{C}/24$ h. Izvaditi King I podlogu i konstatovati pojavu porasta kolonija i promenu boje podloge u zelenkasto-plavu, usled proizvodnje pigmenta koji se proverava na pyocyanin ukapavanjem na porast bakterija 2 cm^3 hloroforma. Pojava plave boje označava *pozitivnu reakciju*.

Određivanje ukupnog broja svih živih bakterija u 1 cm^3 . Hranljive podloge: 1. Podloga za ukupan broj bakterija po 15 cm^3 u epruvetama 16 x 160 mm; 2. Sterilan fiziološki rastvor po 9 cm^3 u epruvetama 16 x 160 mm. *Izvođenje ispitivanja:* Da bi se dobio što tačniji broj bakterija u 1 cm^3 vode i ravnomerna suspenzija mikroorganizama, promućkati uzorak vode. Uzeti sterilnom pipetom 1 cm^3 uzorka vode uliti ga u sterilnu Petri ploču kroz malo odškrinut poklopac. Otopljenim, i na 45°C ohlađenim hranljivim agarom, prelići uzorak vode u Petri šolju i izmešati sadržaj kružnim pokretima ploče po stolu. Zasejane ploče ostaviti da se podloga stegne na sobnoj temperaturi. Okrenuti ploče sa stegnutim agarom i staviti u termostat na $37^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ 48 h. Ploče se slažu u termostat 3-5 u visinu i odmaknute od zidova termostata. Posle 48 h inkubiranja, brojati porasle kolonije na pločama od 30-300.

pH vrednost. *Merenje pH vrednosti* vršeno je na pH ion-meter, Consort, Belgija [10,13,15,16].

Miris. Uzorak je poređen sa bezmirisnim standardom koji se priprema prevlačenjem vode preko aktivnog uglja. Kvantifikacija mirisa obavljena je po Gartnerovoj skali kao: *jedva primetan, primetan, izražen, veoma izražen i odbojan*.

Mutnoća vode. Uzorak vode je dobro promućkan, sačekano je da nestanu vazdušni mehurići i sipano je u turbidimetrijsku kivetu. Mutnoća u nefelometrijskim jedinicama pročitana se direktno sa skale aparata, ili iz odgovarajuće standardne krive. Mutnoća vode izražava se u nefelometrijskim jedinicama mutnoće (NTU) i u sadržaju SiO_2 u vodi izraženim u mg/l .

Oksidativnost. U erlenmajer od 300 cm^3 odmereno je 100 ml uzorka vode za analizu, 5,00 ml sumporne kiseline (1:3), dodato nekoliko staklenih perli i rastvor zagrejan do ključanja. U ključali rastvor iz birete dodato je 15,00 ml 0,002 mol/l KMnO_4 i rastvor zagrejan 10 min. Zatim je rastvor titrisan 0,002 mol/l rastvorom KMnO_4 do pojave svetlo ružičaste boje [6].

Ukus vode. Ispitivanje ukusa vršeno je zagrevanjem uzorka do 40°C i njegovim zadržavanjem u ustima do nekoliko sekundi kako bi došli u kontakt sa receptorima u ustima.

Nitriti, kao NO_2^- . *Određivanje nitrita* kolorimetrijskim putem sa sulfanilnom kiselinom. *Određivanje* je obavljeno korišćenjem spektrofotometrije na talasnoj dužini od 520 nm. U 100 ml uzorka doda se 2 ml rastvora sulfatne kiseline ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$) i 0,9 ml glacijalne sirćetne kiseline, promeša se, posle 15 min se doda 2 ml rastvora naftilamin-acetata i opet se promeša. Crvenoljubičasta boja upoređuje se 4 minuta posle mešanja. Poređenje boje vrši se u Nessler-ovim epruvetama za koncentracije od 0,005 do 0,10 mg/l NO_2^- , ili u kivetama od 13 mm za koncentracije od 0,2 do 1,8 mg/l NO_2^- . Kompezovanje se vrši smešom od 5 ml destilovane vode i 100 ml uzorka, a ukoliko nije bezbojan i bistar, bistrom vodom. Koloidne organske supstance prethodno se otklone taloženjem sa aluminijum-sulfatom i natrijum-hidroksidom.

Nitrati, kao NO_3^- . *Određivanje nitrata (UV spektrofotometrijski).* *Određivanje* se zasniva

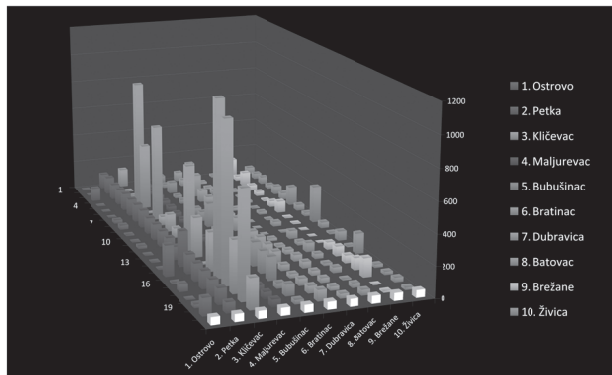
na merenju apsorbcije uzorka na 220 nm. Kalibraciona prava za nitrate sledi Beer-ov zakon do koncentracije od 11 mg/l kao N. U 50 ml bistrog uzorka po potrebi proceđenog, ili u 50 ml proceđenog nakon odstranjivanja boje, dodati 1 cm³ 1 mol/l HCl i snažno promešati. Spektrofotometrijskim merenjem očitava se apsorbcija i transmitansa u odnosu na 0 apsorbcije, ili 100% transmitanse sa redestilovanom vodom.

Određivanje sadržaja teških metala u vodi za piće. U ovom radu određivani su sledeći metali: arsen, olovo, kadmijum i uran. Sva ispitivanja u ovom radu izvršena su na atomskim apsorpcionim spektrofotometrima: VARIAN SPECTRAA-10-plameni (Varian, Australija) i VARIAN 240 ZAA-GTA 120-grafitni (Varian, Australija) [17], osim arsena koji je određivan hidridnom tehnikom i urana koji je određivan fluorimetrijskim putem. *Hidridna tehnika* je razrađena za određivanje elemenata koji grade lako isparljive hidride (As, Hg, Sb, Bi, Se, Ge i Sn). Merenja su rađena na instrumentu Spectro Ciros, prema standardnoj metodi DIN EN ISO 11885 (1998) [18].

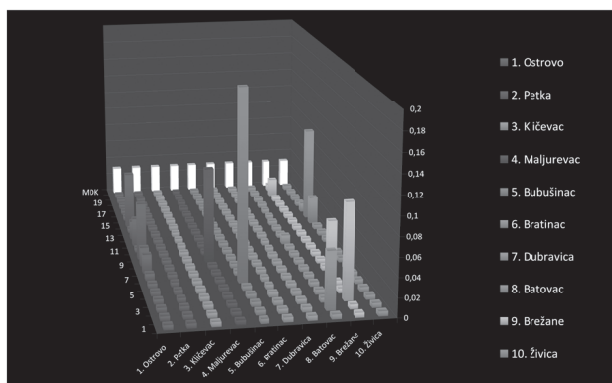
Kvantitativni sadržaj urana određen je fluorimetrijskom metodom (Metoda DM10-0/34) zasnovanoj na linearnoj zavisnosti intenziteta fluorescencije molekula uranovih jedinjenja od njihove koncentracije. Intenzitet fluorescencije meren je pomoću Fluorimetra Jarrell Ash Division – 26000 (Fisher Scientific Company, Waltham, 1978) [19-25].

REZULTATI

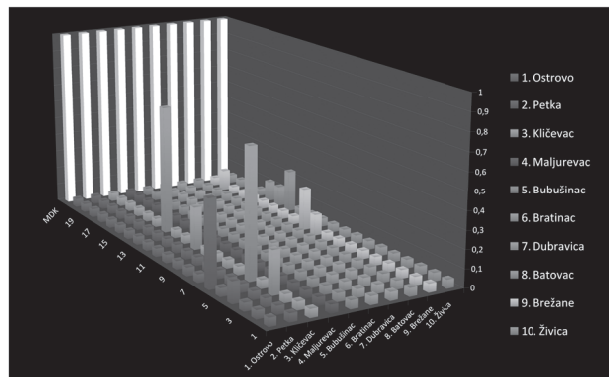
Na slikama 1-7 prikazani su rezultati ispitivanja vode u seoskim naseljima na teritoriji grada Požarevca.



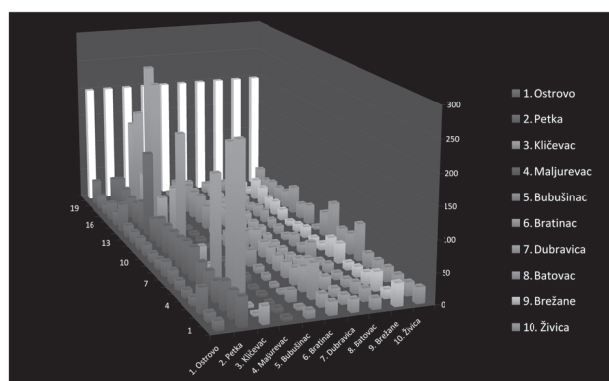
Slika 1. Rezultati određivanja sadržaja nitrata u vodi za piće



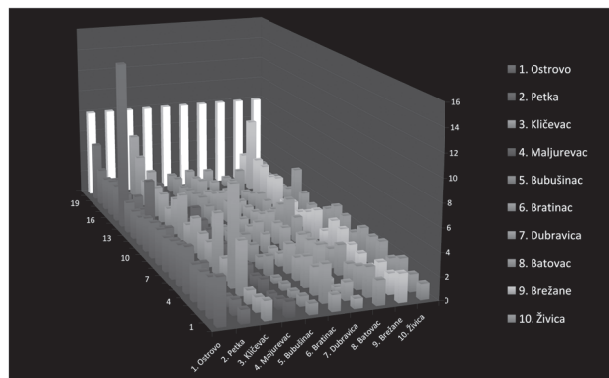
Slika 2. Rezultati određivanja sadržaja nitrita u vodi za piće



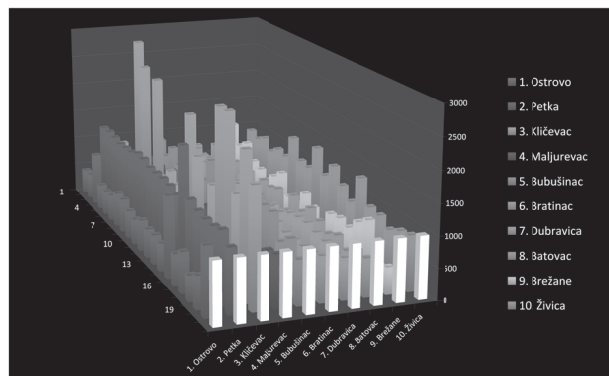
Slika 3. Rezultati određivanja sadržaja amonijaka u vodi za piće



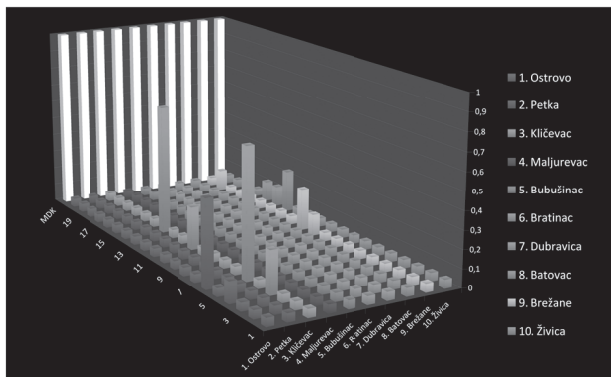
Slika 4. Rezultati određivanja sadržaja hlorida u vodi za piće



Slika 5. Rezultati određivanja utroška KMnO4 u vodi za piće



Slika 6. Rezultati određivanja elektroprovodljivosti u vodi za piće



Slika 7. Rezultati određivanja mutnoće u vodi za piće

Rezultati, dobijeni ispitivanjem vode za piće u seoskim naseljima na teritoriji grada Požarevca i Kostolca, pokazali u sledeće:

- 1. Ostrovo.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 4. Dubina bunara je između 9 i 21 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 204,7 mg/l), nitrita (max. 0,06 mg/l) i elektroprovodljivosti (max. 1338 μ S). U jednom uzorku vode bio je povišen utrošak $KMnO_4$ 14,99 mg/l.
- 2. Petka.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 9 i 16 m. U ovom selu nijedan uzorak vode nije ispravan za piće. Najčešći uzrok neispravnosti vode za piće su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 236,77 mg/l) i povišena vrednost elektroprovodljivosti (max. 2010 μ S).
- 3. Kličevac.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 6. Dubina bunara prvog vodonosnog sloja, njih 14, je između 7 i 30 m, dok su arterški bunari, njih 6, dubine od 50 do 144 m. U ovom selu nijedan uzorak vode za piće nije ispravan iz plićeg vodonosnog sloja. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 1138,9 mg/l). Voda iz arterških bunara je zdravstveno ispravna.
- 4. Maljurevac.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 6 i 19 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 67,65 mg/l) i nitrita (max. 0,1 mg/l).
- 5. Bubušinac.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 15 i 23 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 165,3 mg/l) i elektroprovodljivosti (max. 1205 μ S). U jednom uzorku bila je povišena koncentracija nitrita (0,2 mg/l).
- 6. Bratinac.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 12 i 25 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 207 mg/l).
- 7. Dubravica.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 8 i 17 m. Uzrok

neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (66,3 mg/l).

- 8. Batovac.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 9 i 16 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost nitrata 61,12 mg/l) i nitrita (0,06 mg/l).

- 9. Brežane.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 7 i 19 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost 126,7 mg/l).

- 10. Živica.** Broj članova domaćinstava koji piju vodu iz bunara koji su ispitivani je u proseku 5. Dubina bunara je između 9 i 21 m. Najčešći uzrok neispravnosti su povišene vrednosti nitrata (maksimalna zabeležena vrednost nitrata 250,06 mg/l) i elektroprovodljivost (max. 1346 μ S), u jednom uzorku bila je snižena pH vrednost (6,27), u jednom uzorku bila je povišena mutnoća (9,30 NTU).

Prisustvo teških metala utvrđeno je u oko 63% uzoraka vode. Rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u vodi za piće pokazali su da je sadržaj ispitivanih metala u svim uzorcima vode ispod zakonom dozvoljenih vrednosti: arsena (0,005 mg/l a dozvoljeno 0,01 mg/l), olova (0,002 mg/l a dozvoljeno 0,01 mg/dm³), kadmijuma (0,0001 mg/l a dozvoljeno 0,003 mg/l) i urana (0,001 mg/l a dozvoljeno 0,015 mg/l). Od ostalih metala najčešće se detektovani (u tragovima): cink, gvožđe, bakar, mangan, kobalt, nikl i hrom.

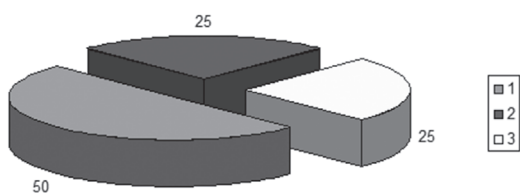
DISKUSIJA

Dobijeni rezultati analiza voda razlikuju se od naselja do naselja, ali je u većini naselja voda u velikom procentu higijenski neispravna.

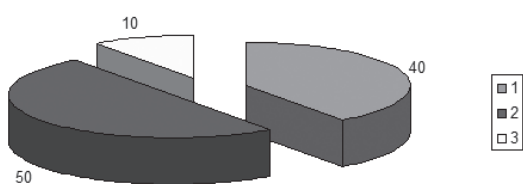
U tabeli 2 i na slici 8 i 9 prikazani su rezultati ispitivanja fizičko-hemijske i mikrobiološke ispravnosti vode za piće (%).

Tabela 2. Rezultati ispitivanja fizičko-hemijske i mikrobiološke ispravnosti vode za piće (%)

Mesto uzorkovanja vode za piće	% fizičko-hemijska ispravnost uzoraka vode za piće	% mikrobiološka ispravnost
1. Ostrovo	70	60
2. Petka	0	45
3. Kličevac	80	25
4. Maljurevac	90	60
5. Bubušinac	50	75
6. Bratinac	25	75
7. Dubravica	95	85
8. Batovac	85	55
9. Brežane	50	80
10. Živica	70	65



Slika 8. Udeo fizičko-hemijske ispravnosti ispitivanih uzoraka vode za piće



Slika 9. Udeo mikrobiološke ispravnosti ispitivanih uzoraka vode za piće

Kao što se može videti sa slika 8 i 9, 50% sela ima fizičko-hemijsku ispravnost vode za piće manju od 50% (ispravan je svaki drugi uzorak), 40% sela ima mikrobiološku ispravnost vode za piće manju od 50% (ispravan je svaki drugi uzorak).

Najčešći uzrok neispravnosti vode za piće u individualnim bunarima seoskih naselja grada Požarevca je fizičko-hemijska neispravnost zbog povišenih vrednosti nitrata i mikrobiološka neispravnost zbog prisustva koliformnih bakterija.

Prisustvo nitrata u vodi za piće ukazuje da je zagađenje u toku i može biti iz atmosfere, kao proizvod raspadanja organskih materija, ili iz azotnih mineralnih đubriva. Poljoprivredna aktivnost (neregulisano odvodnjavanje obradivih površina koje se đubre) i septičke jame (neizgrađena komunalna mreža) najčešći su uzročnici kontaminacije atmosferskih voda nitratima, što postaje sve veći problem kontaminacije izvorišta. Infiltracijom atmosferskih voda usled hidrauličke veze sa podzemnim vodama, nitrati se lako prenose i filtriraju kroz podzemlje od žarišta kontaminacije do izdani. Nitrati su pri tom veoma rastvorljivi i ne adsorbuju se na poroznu sredinu, što dodatno olakšava njihovo kretanje u podzemlju i povećava rizik od kontaminacije. U aerobnim uslovima nitrati su veoma postojani i javljaju se kao stabilan oblik azota, dok u anaerobnim uslovima podležu biodegradaciji, ali je ovaj proces veoma spor i zahteva prisustvo dovoljne količine organskog ugljenika [26,27]. U Srbiji je ovaj problem posebno zastupljen u slivu Velike Morave, kao što je i pokazano u ovom radu, ali je podjednako aktuelan i širom sveta [28].

Sljunkovita, vodonosna sredina aluviona Velike Morave je 2000. godine bila ugrožena sa visokim sadržajem nitrata koji se svakim danom uvećavao. Nitrati u podzemnoj vodi (koncentracije preko 100 mg/l) dominantno potiču od *komunalno neuređenih naselja*. U manjem obimu uzrok je *đubrenje obradivih poljoprivrednih površina* (sa koncentracijom nitrata kontinualno do 30 mg/l).

Ali je značajno povećana drastičnim *generalnim sniženjem* vodostaja Velike Morave nivoa podzemnih voda na širem području za oko 4 km u periodu od 80-ih godina XX veka do danas (što doprinosi koncentraciji nitrata od 100 do 160 mg/l). Sniženje nivoa podzemnih voda su direktan efekat rudarenja šljunka iz reke i skraćivanja toka procecanjem meandara [29].

Jedan od hemijskih indikatora „svežeg“ fekalnog zagađenja je amonijak, koji nastaje kao posledica mineralizacije organskih materija, ali je u svim analiziranim vodama koncentracija amonijaka u dozvoljenim granicama.

Osnovni zahtev kvaliteta vode je da ona bude bez mirisa, ukusa i boje. Prisustvo mirisa ukazuje najčešće na kvalitativnu neispravnost vode jer miris dolazi od rastvorenih organskih i neorganskih materija u vodi. Ukus vode je najčešće znak neispravnosti vode, a određen je mineralnim sastavom, sadržajem gasova i temperaturom.

Mutnoću vode čine suspendovane i koloidne čestice u vodi (gline, mulja, finih, sitnih organskih i neorganskih materija, rastvorenih, obojenih organskih materija, mikroskopski sitnih živih organizama i planktona), prisustva vodenih organizama i nerastvorenih mehurića vazduha i predstavlja optičko svojstvo vode. Utrošak KMnO_4 pri standardizovanim uslovima predstavlja merilo sadržaja organskih materija u vodi.

Boja vode je posledica prisustva koloidno rastvorenih materija biljnog porekla i veoma se teško uklanja. Boja vode predstavlja optičko svojstvo vode. Boja vode posledica je apsorpcije i refleksije svetlosti određene talasne dužine, bez skretanja talasnih dužina. Mutnoća vode je posledica prisustva nerastvornih materija zbog kojih dolazi do skretanja svetlosti. Boja vode potiče od materija različitog porekla, a od prisustva kiseonika zavisi intenzitet boje (žuta ili crvena). Najčešće na boju vode utiče sadržaj organskih materija (žuta boja, boja čaja). Boja kao parametar ne spada u toksične parametre, ali se nalazi na EPA (engl. *Environmental protection Agency*) listi sekundarnih (estetskih) parametara i utiče na izgled, a ponekad i na miris vode [8].

Elektroprovodljivost je električno svojstvo vode. Provodljivost zavisi od vrste jona prisutnih u vodi, njihove koncentracije, pokretljivosti i naelektrisanja, kao i od temperature na kojoj se određuje provodljivost (u μS , na 20°C). Povišena elektroprovodljivost vode rezultat je povišenog sadržaja nitrata u podzemnim vodama [27,30], što je i dokazano u ovom radu, a povišene vrednosti i elektroprovodljivosti i sadržaja nitrata zabeležene su u vodi koja je uzorkovana u selu Kličevac.

ZAKLJUČAK

Mikrobiološka ispravnost u ispitivanim vodama kreće od 25%, koja je zabeležena u selu Kličevac do 85% u selu Dubravica.

Fizičko-hemijska ispravnost vode za piće kretala se od potpuno neispravne vode za piće (selo petka) do 95% hemijske ispravnosti vode za piće u selu Dubravica.

Najčešći uzrok neispravnosti vode za piće su povišene vrednosti nitrata i nitrita. Najviša koncentracija nitrata od 1138,9 mg/l zabeležena je u vodi iz sela Kličevac, a nitrita od 0,20 mg/l (6,67 puta

više od MDK vrednosti) u vodi iz sela Babušinac.

U svim analiziranim vodama koncentracija amonijaka je u dozvoljenim granicama.

Mutnoća vode dolazi od suspendovanih materija neorganskog porekla, a najviša vrednost od 26,5 NTU zabeležena je u vodi iz sela Brežane.

Boja vode je posledica prisustva koloidno rastvorenih materija biljnog porekla, a najviša vrednost od 10 Pt/Co jedinica zabeležena je u vodi iz sela Ostrovo.

Najviša koncentracija Cl⁻-jona od 262,48 mg/l zabeležena je u vodi iz sela Kličevac.

Utrošak KMnO₄ koristi se za određivanje prisutne količine organske materije u vodi. Najviša vrednost utroška KMnO₄ od 14,99 mg/l zabeležena je u vodi iz sela Ostrovo.

Najčešći uzrok neispravnosti vode za piće su povišene vrednosti elektroprovodljivosti. Najviša vrednost elektroprovodljivosti od 2940 μS zabeležena je u vodi iz sela Kličevac.

Ispitivanje sadržaja teških metala (As, Pb i Cd) pokazala su da je njihov sadržaj u svim ispitivanim vodama ispod MDK vrednosti, prema Pravilniku, a u nekim slučajevima čak i ispod granice detekcije.

Ispitivanje sadržaja urana u vodi pokazuju da je koncentracija urana u granicama prirodnih vrednosti.

NAPOMENA / ACKNOWLEDGMENTS

Ovaj rad predstavlja deo specijalističkog rada **Slađane Milojković**, koji je odbranjen decembra 2014. godine na Poljoprivrednom fakultetu u Zemunu.

LITERATURA

- Rogožarski Z, Marjanović T. Sagledavanje zdravstvene ispravnosti vode za piće na teritoriji grada Požarevca. Zbornik radova „Održivi razvoj grada Požarevca i energetskog kompleksa Kostolac“, Požarevac 2012; 217-20.
- Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization (WHO), 4th edition 2011: 1-564.
- Rajković MB, Sredović ID, Račović MB, Stojanović MD. Analysis of Quality Mineral Water of Serbia: Region Arandjelovac. Journal of Water Resource and Protection 2012; 4(9): 783-94.
- Rajković MB, Antić M, Milojković S, Marjanović T, Stojanović M. Ispitivanje uticaja termoelektrane TE „Kostolac“ na fizičko-hemijsku i mikrobiološku ispravnost vode za piće u seoskim naseljima na teritoriji opština Požarevac i Kostolac. Zbornik radova Međunarodno savetovanje „Održivi razvoj grada Požarevca i energetskog kompleksa Kostolac“, Kostolac 2014; 122-38.
- Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće. Službeni list SRJ, Beograd 1998; 42: 1-28.
- Kvalitet voda. Laboratorijski priručnik, Beograd: Građevinski fakultet; 2006.
- Analytical Methods Approved for Drinking Water Compliance Monitoring and Inorganic Constituents National Primary Drinking Water Regulations, the method are specified in CFR 141.23 and Appendix A to Subpart C of Part 141. Environmental Protection Agency (EPA), USA, 2009.
- Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće. Službeni list SRJ, Beograd 1999; 44: 1-28.
- Available from: <http://www.standardmethods.org>, Standard Methods 2510 B: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition 2005.
- Available from: <http://www.standardmethods.org>, Standard Methods 4500-B+B: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition 2005.
- Available from: <http://www.standardmethods.org>, Standard Methods 2320 B: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition 2005.
- Available from: <http://www.standardmethods.org>, Standard Methods 4500-F-E: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition 2005.
- Eaton AD, Clesceri LS, Greenberg AE (Eds.). Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. Washington: American Public Health Association, 19th edition 1995.
- Određivanje sadržaja amonijaka. Metoda pomoću Nessler-ovog reagensa. SRPS 7150-1, 1990.
- Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 5th edition 1989.
- Harris DC. Quantitative Chemical Analysis. New York: W.H. Freeman and Company; 6th edition 2003.
- Metals (atomic absorption methods). U.S. Environmental Protection Agency (EPA), In Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA-600/4-79-020. U.S. E.P.A., Cincinnati, Ohio, USA, 1983: 55-72.
- Birke M, Reimann C, Demetriades A, Rauch U, Lorenz HL, Harazim B, Glatte W. Determination of Major and Trace elements in European Bottled Mineral Water – Analytical methods. Journal of Geochemical Exploration 2010; 107: 217-26.
- Rajković MB, Stojanović M, Lačnjevac Č, Tošković D, Stanojević D. Određivanje tragova radioaktivnih supstanci u vodi za piće. Zaštita materijala 2008; 49(4): 44-54.
- Rajković MB, Lačnjevac C, Ralević NR, Stojanović MD, Tošković DV, Pantelić GK et al. Identification of Metals (Heavy and Radioactive) in Drinking Water by an Indirect Analysis Method Based on Scale Test. Sensors 2008; 8(4): 2188-207.
- Rajković MB, Stojanović MD, Pantelić GK. Indirektna metoda određivanja elemenata (metala

- i nemetala) u vodi za piće ispitivanjem kamenca. Beograd: Savez inženjera i tehničara Srbije; 2009: 1-294.
22. Stojanović M, Martinović Z. Pregled analitičkih metoda za određivanje urana. Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom. Zbornik radova sa naučnog skupa, SANU, Beograd, knjiga 5, 1993: 19.
 23. Stojanović M, Rajković MB. Određivanje i karakterizacija urana u vodi za piće. Zbornik radova XXII simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac n/m, Crna Gora 2003; 153.
 24. Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije. Službeni list SRJ, Beograd 1999; 9.
 25. Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS). Određivanje sadržaja urana fluorimetrijskom metodom DM 10-0/34. Beograd; 2004.
 26. Kaluđerović D. Mogućnost remedijacije izdani zagađene nitratima metodom in situ biodenitrifikacije. Vodoprivreda 2008; 40(4-6): 227-232.
 27. Vujasinović S, Zarić J, Kaluđerović D, Matić I. Mogućnosti anaerobne biodegradacije nitrata u podzemnim vodama požarevačkog izvorišta „Ključ” – primenom emulzifikovanog biljnog ulja. Zaštita materijala 2014; 55(1): 69-75.
 28. Bradley PM. Microbial Degradation of Chloroethenes in Grounwater Systems. Hydrogeology Journal 2000; 8: 104-111.
 29. Kaluđerović D. Prirodno prečišćavanje izdani, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, doktorska disertacija, 2008.
 30. Milojković S. Fizičko-hemijska i mikrobiološka ispravnost vode za piće u seoskim naseljima na teritoriji grada Požarevca, Beograd-Zemun: Poljoprivredni fakultet, specijalistički rad, 2014.

Physico-Chemical And Microbiological Quality Of Drinking Water In Rural Communities In The Požarevac

Rajković, M.B.¹,
Milojković, S.¹,
Marjanović, T.²,
Antić, M.¹,
Nikšić, M.¹,
Stojanović, M.³

¹University of Belgrade,
Faculty of Agriculture, Belgrade,
Public Helath Požarevac, Požarevac,
²Institute for Technology of Nuclear
and Other Mineral Raw Materials
(ITNMS), Belgrade, Serbia

Summary: In rural areas in the territory of Požarevac samples were taken in 10 villages that have no central water supply: Ostrovo, Petka, Kličevac, Maljurevac, Bubušinac, Bratinac, Dubravica, Batovac, Brežane, Živica. 20 samples of water have been taken from the individual wells in households in different parts of the each village. Sampling, testing methods and interpretation of results were done in accordance with the Regulation on the hygiene of drinking water includes the following parameters: smell, color, pH, consumption of KMnO₄, turbidity, nitrite, nitrate, ammonia, chloride, conductivity and microbiological correctness and determination of heavy metals in the drinking water by atomic absorption spectrophotometry. The results of water analysis differ from village to village. In most communities the water is mostly hygienically improper. The research has shown that the % of microbiological safety in the tested water samples ranges from 85% (the village of Dubravica) to completely unsafe water, sampled in the village of Bare. Physical and chemical quality of drinking water ranged from 95% (the village of Dubravica), to completely unsafe water, sampled (villages Petka, Lučica and Prugovo). The most common cause of this are the elevated values of the following chemical substances: nitrate, nitrite, the turbidity of the suspended inorganic materials, the color of water as a result of the presence of colloidal dissolved substances of plant origin, the concentration of Cl⁻ ions, the presence of organic matter in drinking water, elevated conductivity and the pH value of the water. In the analyzed samples of drinking water in rural households ammonia concentration is within acceptable limits, while the heavy metal content in all samples of drinking water is below the maximum allowable concentration, and in some cases even below the detection limit. Uranium content in the tested water samples showed that the concentration of uranium is within the limits of natural values.

Key words: drinking water, physical and chemical quality, the microbiological quality, heavy metals.