

## TEŠKI METALI U VODI GRADSKE VODOVODNE MREŽE NOVOG BEOGRADA

Miloš B. Rajković<sup>1</sup>, Mirjana D. Stojanović<sup>2</sup>

**Izvod:** Predmet ispitivanja u radu bio je kamenac nastao zagrevanjem vode za piće koja protiče kroz gradsku vodovodnu mrežu Novog Beograda. Analiza kamenca pokazala je da je njegov glavni sastojak  $\text{CaCO}_3$ , ali se u kamencu, a samim tim i u vodi za piće, nalaze i *alkalni* i *zemnoalkalni metali*, *teški metali*, polumetali i radioaktivni elementi.

U ispitivanoj vodi za piće dokazani su elementi čije prisustvo u većoj količini nije poželjno (npr. Pb), ali i elementi koji, do sada, nisu nađeni u vodi beogradskog vodovoda (npr. Ni). Na osnovu rezultata frakcione ekstrakcije, zaključuje se da se uran u kamencu, a samim tim i u vodi za piće, nalazi u obliku potencijalno pristupačnih i mobilnih frakcija koje ukazuju na njegovo antropogeno poreklo.

Analiza kamenca, uz poznavanje svih parametara nastanka kamenca (protok vode, temperatura i dr.), predstavlja posrednu metodu analize kvaliteta vode za piće, posebno za polutante niskih sadržaja štetnih za ljudski organizam.

**Ključne reči:** voda za piće, kamenac, teški metali, uran

### Uvod

U vodi za piće nalaze se mnogobrojne neorganske supstance koje doprinose tvrdoći vode i utiču na njen kvalitet i higijensku ispravnost (Rajković, 2003). Postojeće metode za ispitivanje sadržaja metala u vodi za piće ne mogu detektovati njihovo prisustvo u niskim koncentracijama, pa je zbog toga predložena metoda određivanja metala koja je pokazala svoju potpunu primenljivost (Rajković i sar., 2008; Rajković i sar., 2009).

Suština metode je da se za ispitivanje kvaliteta vode iz vodovodne mreže koristi 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. Pošto sastav kamenca potiče od prisutnih neorganskih jedinjenja u vodi, ovom metodom je moguće da se pouzdano, određivanjem elementarnog sastava kamenca, utvrdi struktura kamenca i metali i radioaktivni elementi koji se nalaze u vodi za piće.

Cilj rada bio je da se originalna metoda indirektnog određivanja elemenata upotrebi za procenjivanje kvaliteta vode za piće praćenjem sadržaja teških metala u vodi gradske vodovodne mreže Novog Beograda.

---

<sup>1</sup> Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Srbija (rajmi@agrif.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd, Srbija (m.stojanovic@itnms.ac.rs)

### Materijal i metode rada

Kamenac (*suvi ostatak*) koji je ispitivan u radu nastao je iz vode koja se nalazi u vodovodnom sistemu grada Beograda, a dobijen je iz vode iz vodovodne mreže Novog Beograda (blokovi uz Savu) tokom jula 2013. godine. Kamenac dobijen je tako što je 1 dm<sup>3</sup> vode za piće zagrevan do ključanja i uparavan do suva. Sastav tako dobijenog kamenca određen je upotrebom AAS Perkin Elmer 703, prema standardu JUS B.B8.070.

Udeo elemenata, u obliku jedinjenja ili u elementarnom obliku, u % upoređen je sa maksimalno dopuštenim koncentracijama (MDK) neorganskih supstanci u vodi, koje su propisane Zakonom (Službeni list SRJ 1998).

Metode, koje su korišćene u radu, prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Analitičke metode i granica detekcije  
*Table 1. Analytical method and detection limit*

| Parametar<br><i>Parameter</i> | Jedinica<br><i>Unit</i>                              | Analitička metoda<br><i>Analytical method</i> | Granica detekcije<br><i>Detection limit</i> |
|-------------------------------|--|---|---|
| pH                            | -  | direktna potenciometrija                      | -   |
| tvrdoća vode                  | $m(\text{CaCO}_3)/\text{dm}^3$<br>mg/dm <sup>3</sup> | kompleksometrijska titracija                  | -   |
| U                             | ppm  | fluorimetrija                                 | 0,0005                                      |
| oblik vezivanja U             | %  | frakciona ekstrakcija                         |   |
| metali                        | ppm  | AAS   |   |
| polumetali (Si, As)           | ppm  | AAS   |   |
| nemetali (S)                  | ppm  | AAS   |   |
| Sr                            | Bq/kg  | gama spektroskopija                           | 0,1   |
| kristalna struktura           |  | SEM   |   |
| kvalitativan sastav           |  | rendgenska difrakciona analiza (RDA)          |   |
| alkalitet                     | mg/dm <sup>3</sup>                                   | potenciometrija                               | 0,01  |
| suvi ostatak                  |  | žarenje                                       | -   |

Kvantitativni sadržaj urana određen je fluorimetrijskom metodom, tehnikom „standardnog dodatka” nakon ekstrakcije urana sa sinergističkom smešom TOPO-etil-acetat. Intenzitet fluorescencije meren je pomoću Fluorimetra 26-000 Jarrel Ash Division.

Ispitivanjem kamenca, izvršeno je kvantitativno određivanje oblika vezivanja urana, metodom frakcione ekstrakcije (Rajković i sar., 2005) koja pruža informacije o stepenu rastvorljivosti i revezibilnosti oblika vezanog urana, ukazujući ujedno i na poreklo urana (prirodno ili antropogeno) dospelog u vodu za piće.

Nisko fonska gama spektrometrijska merenja izvedena su sa CANBERRA HP Ge koaksijalnim detektorom sa relativnom efikasnošću od 14%, FWHM od 1,7 keV (Rajković i sar., 2009).

### Rezultati istraživanja i diskusija

Uparavanjem 1,0 dm<sup>3</sup> vode za piće do suva nastalo je 0,26 g kamenca (*suvog ostatka*). Rezultati ispitivanja sastava kamenca prikazani su u tabeli 2, gde je zvezdicom (\*) označena MDK vrednost u flaširanoj vodi za piće.

Tabela 2. Hemijske supstance neorganske prirode pronađene u kamencu i izračunata njihova masena koncentracija u vodi za piće

Table 2. Inorganic chemical substances found in scale and their calculated mass concentration in drinking water

| Hemijska supstanca<br><i>Chemical substance</i> | Pronađeno u kamencu<br>(u %)<br><i>Found in scale<br/>(in wt. %)</i> | Izračunata masena koncentracija u vodi za piće (mg/dm <sup>3</sup> )<br><i>Calculated mass concentration drinking water (in mg/dm<sup>3</sup>)</i> | Dozvoljena masena koncentracija u vodi za piće (mg/dm <sup>3</sup> )<br>(Službeni list SRJ 1998)<br><i>Maximum of allowed concentration in drinking water (in mg/dm<sup>3</sup>)</i> |
|---|--|--|--|
| Kalcijum, kao CaO                               | 50,09%   | 106,07 kao Ca  | 200,0  |
| Magnezijum, kao MgO                             | 3,54%  | 6,33 kao Mg  | 50,0   |
| Natrijum, kao Na <sub>2</sub> O                 | 0,008%   | 0,04 kao Na  | 150,0  |
| Kalijum, kao K <sub>2</sub> O                   | 42 ppm   | 0,01 kao K   | 12,0   |
| Gvožđe, kao Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 0,98%  | 2,03 kao Fe  | 0,05*  |
| Silicijum, kao SiO <sub>2</sub>                 | 0,44%  | 0,61 kao Si  | -  |
| Aluminijum, kao Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,33%  | 0,52 kao Al  | 0,05*  |
| Titan, kao TiO <sub>2</sub>                     | < 0,002%   |  |  |
| Olovo   | 45 ppm   | 13,33 µg Pb/dm <sup>3</sup>  | 0,01 (0,05*)   |
| Cink  | 0,76%  | 2,25   | 3,0 (0,05*)  |
| Bakar   | 0,35%  | 1,04   | 2,0 (0,1*)   |
| Stroncijum                                      | 64 ppm   | 0,019  | 2,0  |
| Uran  | 1,42 ppm   | 0,42 µg U/dm <sup>3</sup>  | 0,05*  |
| Nikl  | 11 ppm   | 3,26 µg Ni/dm <sup>3</sup>   | 20 µg/dm <sup>3</sup>  |
| Kadmijum  | 4 ppm  | 1,78 µg Cd/dm <sup>3</sup>   | 3 µg/dm <sup>3</sup>   |
| Hrom (ukupni)                                   | 16 ppm   | 4,74 µg Cr/dm <sup>3</sup>   | 50 µg/dm <sup>3</sup>  |
| Sulfati, kao SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      | 0,27%  | 0,81   | 200  |
| Gubitak žarenjem*                               | 43,33%   | -  | -  |
| Σ   | 99,95%   | 119,75   | 257,71   |
| Tvrdoća vode                                    | mg/dm <sup>3</sup> CaCO <sub>3</sub>                                 |  | °D   |
|   | 264,76   |  | 14,84  |

Rezultati dobijeni preračunavanjem masene koncentracije u vodi za piće na osnovu sastava u kamencu (119,75 mg/dm<sup>3</sup>) pokazali su da voda pripada kategoriji slabo-mineralne vode. Na osnovu tvrdoće vode, voda se nalazi na samoj granici srednje tvrde i prilično tvrde vode (Rajković, 2003).

*Alkalni i zemnoalkalni elementi*, koji su dominantni u vodi za piće, su po svom sadržaju daleko ispod Zakonom dozvoljenih koncentracija. Koncentracije Zn, Cd i Cu nisu prelazile zakonom dozvoljene vrednosti, dok je koncentracija Fe bila preko 40 puta veća od dozvoljene, što je dokaz da voda za piće iz vodovodne mreže Novog Beograda potiče iz reni-bunara i

dubokih arteških bunara. Aluminijum se u vodi nalazi u koncentraciji 10 puta većoj od Zakonom dozvoljene vrednosti. Olovo u vodi za piće potiče iz olovnih vodovodnih cevi, PVC cevi koje sadrže olovo ili iz česme odnosno kućnih priključaka i armature. U četvrtu grupu ubrajaju se radioaktivni elementi U (i njegovi izotopi U-233, U-234, U-235, U-236 i U-238) i Sr.

Kvantitativno određivanje oblika vezivanja urana izvršeno je metodom frakcione ekstrakcije a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 3., pri čemu % predstavlja pojedine frakcije u ukupnom sadržaju U.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja porekla urana u kamencu koji je dobijen iz vode za piće metodom frakcione ekstrakcije

Table 3. Results of testing the origin of uranium found in scale obtained from drinking water using method of fractional extraction

| Frakcija<br>Fraction | Kamenac<br>Scale                           | U, ppm | % od U <sub>uk</sub> * |
|----------------------|--|--------|------------------------|
| Uran (uranium)       |  |        |                        |
| I.                   | Ukupan uran (total uranium content)        | 1,42   | 100                    |
| Frakcija I           | Vodno-rastvorljiv i izmerljivo adsorbovan  | < 0,01 | < 0,70                 |
| Frakcija II          | Specifično adsorbovan i vezan za karbonate | 0,49   | 34,51                  |
| Frakcija III         | Vezan za okside mangana i gvožđa           | 0,93   | 65,49                  |
| Frakcija IV          | Vezan za organsku materiju                 | < 0,01 | < 0,70                 |
| Frakcija V           | Strukturno vezan u silikatima              | < 0,01 | < 0,70                 |
| Σ                    |  | 1,45   | 102,1                  |

Na osnovu rezultata frakcione ekstrakcije, zaključuje se da se uran u kamencu, a samim tim i u vodi za piće, nalazi u obliku potencijalno pristupačnih i mobilnih frakcija (65,49%) koje ukazuju na njegovo antropogeno poreklo. Međutim, kako je sadržaj gvožđa u vodi za piće veoma mali, to znači da je i sadržaj eventualno adsorbovanog urana veoma mali, ali ne i zanemarljiv. Međutim, kako se uslovi u bojleru teško menjaju, to i uran u kamencu ostaje fiksiran, a u vodi nepromenjen.

### Zaključak

Ispitivanje sastava elemenata u vodi za piće, koja se nalazi u vodovodnoj mreži grada Beograda – dela Novi Beograd, indirektnom metodom, na osnovu kamenca koji je istaložen iz vode tokom zagrevanja, ukazuje je na prisustvo *alkalnih* i *zemnoalkalnih elemenata* ali i teških metala.

Pomalo je neočekivano prisustvo nekih elemenata, čije prisustvo u vodi u većoj količini nije poželjno (npr. Pb), ali i nekih elemenata koji do sada nisu nađeni u vodi beogradskog vodovoda (npr. Ni).

Ispitivanje kamenca ukazalo je na prisustvo radioaktivnog elementa urana u vodi za piće koji je opasan zbog svoje hemijske toksičnosti ali i radioaktivnosti. Iako se najveći deo rastvornog urana, koji je unet u čovekov organizam, izluči tokom prvih 24h (67%), ostatak urana ostaje u organizmu i utiče na funkcije čovekovog organizma, a glavna meta napada je bubreg. Metodom frakcione ekstrakcije utvrđeno je da je uran najviše vezan za okside gvožđa i mangana (65,49%) što predstavlja oblik koji je potencijalno pristupačan ljudskom organizmu i ukazuje na njegovo antropogeno poreklo.

## Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta III43009 koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

## Literatura

- Rajković M.B. (2003). Neke neorganske supstance koje se mogu naći u vodi za piće i posledice po zdravlje ljudi. *Hemijska industrija*, 57 (1), 24-34.
- Rajković, M.B., Stojanović, M.D., Pantelić, G.K., Tošković, D.V. (2005). Determination of Inorganic Compounds in Drinking Water on the Basis of Household Water Scale. Part 2. Application of fractional extraction method for the determination of uranium origin. *Acta Periodica Technologica*, 36, 135-141.
- Rajković, M.B., Lačnjevac Č., Ralević, N.R., Stojanović, M.D., Tošković, D.V., Pantelić, G.K., Ristić, N.M., Jovanić, S. (2008). 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.D., Pantelić G.K. (2009). Indirektna metoda određivanja elemenata (metala i nemetala) u vodi za piće ispitivanjem kamenca. Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd.
- Službeni list SRJ (1998): Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, broj 42 od 8.avgusta 1998.god.

## THE HEAVY METALS IN CITY WATER SUPPLY OF NEW BELGRAD

*Miloš B. Rajković<sup>1</sup>, Mirjana D. Stojanović<sup>2</sup>*

### Abstract

In this work, the subject of research is the scale formed by heating the drinking water that flows through the city water supply of New Belgrade. Analysis of the scale showed that its main ingredient is CaCO<sub>3</sub>, but in the scale and in drinking water could be found alkali and alkaline earth metals, heavy metals, semimetals and radioactive elements.

In tested drinking water elements whose presence in large quantities is not desirable (eg, Pb) are proven to exist, as well as elements that, so far, have not been found in the water of the Belgrade water supply (eg, Ni). Based on the results of fractional analysis, it is concluded that the uranium found in the scale and in the drinking water is in the form of potentially accessible and mobile fractions which indicate its anthropogenic origin.

Analysis of scale, with all the parameters of scale existing (water flow, temperature, etc..), presents an indirect method of analyzing the quality of drinking water, especially for low levels of pollutants which are harmful to the human body.

**Key words:** drinking water, scale, heavy metals , uranium

---

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Agriculture Zemun, St. Nemanjina 6, Belgrade, Serbia (rajmi@agrif.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials (ITNMS), Franše d'Eperea 86, Belgrade, Serbia (m.stojanovic@itnms.ac.rs)