

PROCENA ZDRAVSTVENOG RIZIKA IZLOŽENOSTI RADONU IZ VODE U OPŠTINI NOVO BRDO

**Biljana VUČKOVIĆ¹, Boban ĐOKIĆ¹, Nataša TODOROVIĆ²,
Jovana NIKOLOV² i Ljiljana GULAN¹**

- 1) Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Prirodno-matematički fakultet, Lole Ribara 29, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija, biljana.vuckovic@pr.ac.rs, boban.djokic@pr.ac.rs, ljiljana.gulan@pr.ac.rs
- 2) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Trg Dositeja Obradovića 4, 21000 Novo Sad, Srbija, natasa.todorovic@df.uns.ac.rs, jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ

Postojanje radona u vodi za piće dovodi do unutrašnje izloženosti, direktno (kroz procese radioaktivnog raspada, ingestije i inhalacije) i indirektno (kada se kombinuju kao deo lanca ishrane). Merenje zastupljenosti radona u vodi za piće pomaže da se proceni rizik od izloženosti zračenju prilikom svakodnevne potrošnje vode. U ovom radu koncentracija aktivnosti radona u vodi sa alternativnih izvora snabdevanja na teritoriji opštine Novo Brdo merena je alfa spektrometrijskom metodom RAD7 uređajem (DurrIDGE Co.). Vrednost koncentracije kretala se u rasponu od $2,3 \pm 0,4$ Bq/l do 341 ± 40 Bq/l, srednje vrednosti od 61,8 Bq/l. Na osnovu ovih vrednosti određene su godišnje efektivne doze inhalacije, čija je srednja vrednost bila 156 μ Sv/y, kao i godišnje efektivne doze ingestije za određene starosne grupe, sledećih srednjih vrednosti: odojčad (≤ 1 godine) 326,7 μ Sv/y, deca (2-17 godina) 120,3 μ Sv/y i odrasli (≥ 17 godina) 157,8 μ Sv/y.

1. Uvod

Voda je neophodna za ljudski život i predmet je izučavanja brojnih ekoloških, geoloških i radioloških studija. U ruralnim i urbanim sredinama, gde ne postoji redovno snabdevanje vodom iz centralnih vodovoda, stanovništvo se snabdeva iz alternativnih izvora, u prvom redu iz izvora podzemnih mineralnih voda. Koncentracija radona u vodi koja ima široku upotrebu u domaćinstvu je funkcija različitih parametara, kao što su geomorfološke karakteristike vodonosnog sloja, načinu kretanja vode, interakciji voda - stena, sadržaju minerala u stenama [1]. Da bi se stanovništvo zaštitilo od posledica prekomernog izlaganja radonu u njihovom okruženju [2], neophodno je proceniti nivo radona u svakom izvoru, uključujući vodu iz domaćinstva, posebno vodu iz alternativnih izvora. Ingestija radona može prouzrokovati rak želuca čak i kada se radi o malim koncentracijama, dok voda sa povišenim nivoom radona može prouzrokovati difuziju radona u prostorije i povećati ukupni nivo radona i tako posredno, dovesti do povećanja rizika od raka pluća [3,4]. Prema preporuci US EPA [5] dozvoljena koncentracija radona u vodi za piće je 11 Bq/l, dok maksimalna zastupljenost radona u podzemnim vodama prema WHO iznosi 100 Bq/l [6].

2. Oblast istraživanja

U radu su predstavljeni rezultati istraživanja na šest lokacija u ruralnim oblastima na prostoru opštine Novo Brdo. Merena je koncentracija radona u prirodnim mineralnim vodama koja se tradicionalno koristi za piće, ali i u druge potrebe u domaćinstvu. Opština Novo Brdo se nalazi na jugoistočnom delu Kosova i Metohije u Pomoravskom regionu (42°36'N, 21°26'E) i u njoj živi 6729 stanovnika. Ovu opštinu karakterišu reke

sa malim kapacitetom vode, što znači da opština ima nedostatak vodnih resursa, tako da većina sela ima individualne sisteme koji se snabdevaju vodom sa prirodnim tokom, kao i individualnim sistemom bunara [7]. Novo Brdo obiluje stenama magmatskog porekla, granita i mermera, na samom mestu izbijanja voda u geološkoj strukturi terena preovlađuju kvarc, mermerne i granitoidne stene različitog metamorfizma [8]. Stenske mase podložne su fizičko-hemijskim promenama u površinskim delovima što omogućava akumuliranju vode u sistemima prslina i pukotina čiji je stepen promenljiv i zavisi od spoljašnjih uslova. Na ispitivanom terenu su zastupljene raznovrsne litostratigrafske jedinice u kojima su prema tipu poroznosti formirani različiti tipovi izdani.

3. Materijal i metode

Pre samog uzorkovanja izmerena je temperatura vode digitalnim termometrom (Testo Se & KGaA, Germany). Voda sa javnih česmi uzorkovana je u plastičnim flašama od 1,5 l koje su punjene u malom mlazu i do samog vrha, čime se želi izbeći uzburkavanje tečnosti u flaši, oslobađanje radona iz vode i njegovo nagomilavanje u slobodnom prostoru ispod samog zatvarača, pa su zato odmah zatvarane. Koncentracija radona u uzorcima vode merena je sistemom RAD7 RAD H2O (Durrige Co.), čija je donja granica detekcije manja od 0,37 Bq/l [9]. Detekcija radona u vodenim uzorcima izvršena je u Laboratoriji za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zrčenja Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu. Kako se koncentracija nije mogla izmeriti pri samom uzorkovanju, specijalnim adapterom je voda iz plastičnih flaša izlivana u staklene posude od 250ml, tako da u tabeli 1 figuriše korigovana vrednost koncentracije radona određene na osnovu formule [10]:

$$C_{corr} = C_o \times \delta \quad (1)$$

gde je: $\delta = e^{-\lambda t}$, pri čemu je konstanta za radonov raspad $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ i C_o (Bq/l) vrednost merena u laboratoriji nakon nekoliko dana, a t definiše vreme proteklo od datuma uzorkovanja do datuma laboratorijske analize.

Aeracija vodenog uzorka odvija se pomoću pumpe, i tako oslobođeni radon odlazi u komoru. Sistem dostiže ravnotežu u roku do 5 minuta. Tačna vrednost efikasnosti izdvajanja radona je gotovo uvek veća od 90 %. Pre svakog merenja detektor mora biti oslobođen zaostalog radona i suv, što se postiže prođuvavanjem instrumenta.

4. Rezultati i diskusija

4.1. Detekcija radona

U tabeli 1 prikazani su sumirani rezultati istraživanja na istraživanim lokalitetima: temperatura T (°C), korigovana vrednost koncentracije radona u vodi C_{wRn} (Bq/l) i doprinos radona iz vode radonu u vazduhu C_{aRn} (mBq/l).

Ako se pogleda temperaturni raspon uzorkovanih voda od 11 °C do 16 °C, može se reći da uzorkovane vode pripadaju hladnim prirodnim vodama-akrotopegama. Kako se snabdevanje stanovništva pijaćom vodom vrši sa prirodnih izvorišta podzemnih voda na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 1 može se uočiti da četiri lokaliteta (1, 3, 4 i 6) karakteriše koncentracija radona ispod preporučene US EPA vrednosti, u uzorku vode sa lokaliteta 5 koncentracija radona je bila malo iznad preporučene US EPA vrednosti, ali i mnogo niža od preporučene WHO vrednosti.

Tabela 1. Sumirani rezultati istraživanja koncentracije radona u vodi na području opštine Novo Brdo.

Broj uzorka	T (°C)	C _{wRn} (Bq/l)
1	16	5,1±0,5
2	11,5	341±40
3	11	3,9±0,4
4	15,5	3,4±0,4
5	12	15,1±0,9
6	13,5	2,3±0,4
Min	11	2,3±0,4
Sr.vrednost	13,2	61,8
Max	16	341±40

Na području opštine Novo Brdo samo na jednoj lokaciji izmerena je izrazito visoka koncentracija radona u vodi 341 ± 40 Bq/l (lokalitet 2), što je dosta iznad preporučene WHO vrednosti. Ovako visoka koncentracija radona u vodi posledica je geološke građe terena na kojoj se nalazi izvorište. Iako celokupna teritorija opštine Novo Brdo obiluje stenama magmatskog porekla, granita i mermera, na samom mestu izbijanja u geološkoj stukturi terena preovlađuju kvarc, mermerne i granitoidne stene različitog metamorfizma [7].

4.2. Godišnje efektivne doze inhalacije i ingestije

Kancerogeno delovanje radona, u dugoročnom smislu, odnosi se na određivanje godišnjih efektivnih doza internog ozračivanja radonom rastvorenim u vodi, i to: efektivne doze inhalacije i efektivne doze ingestije radona. Proračunate vrednosti godišnjih efektivnih doza ihnalacije i ingestije prezentovane su u tabeli 2.

Tabela 2. Godišnje efektivne doze inhalacije i ingestije.

Broj uzorka	E _{inh} (μSv/y)	E _{ing} (μSv/y)		
		Odojčad (≤ 1)	Deca (2-17)	Odrasli (≥ 17)
1	12,8±1,3	26,9±2,6	9,9±0,9	13,0±1,3
2	860±101	1803,9±212	663,9±78	871,2±102
3	9,8±1,0	20,6±2,1	7,6±0,7	9,9±1,0
4	8,6±1,0	18,0±2,1	6,6±0,7	8,6±1,0
5	38,1±2,3	78,9±4,7	29,4±1,7	38,5±2,3
6	5,8±1,0	12,1±2,1	4,5±0,7	5,8±1,0
Min	5,8±1,0	12,1±2,1	4,5±0,7	5,8±1,0
Sr.vrednost	156	326,7	120,3	157,8
Max	860±101	1803,9±212	663,9±78	871,2±102

Pošto se vode sa istraživanih lokaliteta koriste i za piće i za druge potrebe domaćinstva, godišnja efektivna doza inhalacije određena je na sledeći način [11,12]:

$$E_{inh} = C_{wRn} \times R \times D \times T \times F = C_{wRn} \times 2,52 \quad (2)$$

gde je: C_{wRn} koncentracija radona u vodi (Bq/l), R je odnos koncentracije radona oslobođenog iz vode u vazduh i koncentracije radona u vodi iznosi 10^{-4} , D je dozni faktor konverzije (9 nSv/h za 1 Bq/m³), F je ravnotežni faktor - 0,4, T je prosečno vreme provedeno u zatvorenom prostoru – 7000 h/y [13]. Raspon izračunatih vrednosti efektivnih doza inhalacije je u intervalu od $5,8 \pm 1,0$ μ Sv/y do 860 ± 101 μ Sv/y, srednje vrednosti od 156 μ Sv/y.

Posebnu pažnju treba obratiti na dozu zračenja kojoj su deca izložena, jer ona imaju veći faktor rizika zbog intenzivnog rasta kostiju i zato treba preduzeti velike korake da se ograniči njihovo izlaganje na bilo koji način [14], a što je i razlog postojanja odvojenih kolona u tabeli 2 sa proračunatim vrednostima doza ingestije za tri različite starosne grupe: odojčad (≤ 1), deca (2-17) i odrasli (≥ 17). Efektivne doze ingestije određene su pomoću obrasca [13, 14]:

$$E_{ing} = C_{wRn} \times A_i \times D_f \quad (3)$$

gde je: C_{wRn} koncentracija radona u vodi (Bq/l), A_i je vrednost godišnjeg unosa vode (l/y): za odojčad - 230, za decu - 330 i za odrasle - 730 [15], D_f je faktor konverzije ingestione doze za radon (nSv/Bq): za novorođenčad (≤ 1) - 23, za decu (2-17) - 5,9 i za odrasle (≥ 17) - 3,5 [16].

Srednje vrednosti efektivnih doza ingestije za decu – 120,3 μ Sv/y i odrasle – 157,8 μ Sv/y, dok je srednja vrednost efektivne doze ingestije za odojčad – 326,7 μ Sv/y. Usled razlike u metabolizmu i manjoj težini organa kod odojčadi su zabeležene znatno veće efektivne doze ingestije nego kod dece i odraslih. Takođe, kod odojčadi su i efektivne doze ingestije mnogo veće od efektivnih doza inhalacije, što navodi na zaključak da je želudačno tkivo izloženije ozračivanju od bronhijalnog.

Ukoliko se izuzmu visoke vrednosti efektivnih doza inhalacije i ingestije na lokalitetu 2, efektivne doze inhalacija i ingestija na ispitivanim lokalitetima ispod preporučene vrednosti od 100 μ Sv/y [6] i na ovim mestima nisu potrebne dodatne mere opreza prilikom korišćenja. U slučaju konzumiranja vode sa lokaliteta 2 potrebno je preduzeti određene korake kako bi se koncentracija radona u vodi smanjivala, u prvom redu njena aeracija. Generalno se može reći da se sa radiološkog aspekta ove vode mogu koristiti za piće, ali i za širu upotrebu.

5. Zaključak

Istraživanjem su obuhvaćeni alternativni izvori vodom na 6 lokaliteta u ruralnim sredinama opštine Novo Brdo. Rezultati pokazuju da se koncentracija radona u vodi kreće od $2,3 \pm 0,4$ Bq/l do 341 ± 40 Bq/l, srednje vrednosti od 61,8 Bq/l. Zastupljenost radona u vodi sa ispitivanih lokaliteta je ispod preporučene WHO vrednosti, osim koncentracije radona u vodi na lokalitetu 2- 341 ± 40 Bq/l. Posmatrajući geološku strukturu terena može se reći da je ona odgovorna za ovako visoku vrednost koncentracije radona, jer merno mesto 2 leži na terenu gde preovlađuju kvarc, mermerne i granitoidne stene različitog metamorfizma. Srednja vrednost efektivne doze inhalacije je 156 μ Sv/y, dok su srednje efektivne doze ingestije različitih starosnih grupa sledeće: za odojčad 326,7 μ Sv/y, za decu 120,3 μ Sv/y i odrasle 157,8 μ Sv/y.

Proračunate efektivne doze inhalacije i ingestije na pet ispitivanih lokaliteta su ispod preporučene vrednosti od 100 $\mu\text{Sv/y}$, dok lokalitet 2 karakterišu vrednosti efektivnih doza inhalacije i ingestije iznad preporučenih vrednosti. Posmatrajući srednje vrednosti istraživanih parametara može se zaključiti da je sa radiološkog aspekta voda ispravna i da se može koristiti kako za piće, tako i za druge potrebe u domaćinstvu. Rezultati prezentovani u ovom radu mogu poslužiti kao osnova u dalje radu na istraživanju kvaliteta voda za piće sa alternativnih izvora snabdevanja.

6. Zahvalnica

Rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije ugovorom br. 451-03-9/2021-14/200123.

7. Literatura

- [1] O.M. Isinkaye et al. Annual effective dose from ^{222}Rn in groundwater of a Nigeria University campus area, *Applied Water Science* 11, 2021, 85.
- [2] I. Opoku-Ntim et al. Annual effective dose of radon in groundwater samples for different age groups in Obuasi and Offinso in the Ashanti Region, Ghana, *Environ. Res. Commun.* 1(10), 2019, 105002.
- [3] K.M.Thabayneh. Measurement of ^{222}Rn concentration levels in drinking water and the associated health effects in the Southern part of West Bank—Palestine, *Appl. Radiat. Isot.* 103, 2015, 48–53.
- [4] M.Inaciom et al. Radon concentration assessment in water sources of public drinking of Covilhã's county, Portugal, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 10 (2), 2017, 135-139.
- [5] USEPA, US Environmental Protection Agency, Radon in drinking water health risk reduction and cost analysis. EPA Federal Register 64 (USEPA, Office of Radiation Programs), Washington, DC, 1999.
- [6] WHO, World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. 3rd ed. WHO Press, Geneva, 2004.
- [7] Opštinski razvojni plan Novo Brdo, (2013)
<https://helvetas-ks.org/wp/wp-content/uploads/2013/08/Opstinski-Razvojni-Plan-Novo-Brdo.pdf>
- [8] Geološka karta Srbije, Geološka mapa br.2 – drugo izdanje, 1: 2.000000. Ministarstvo rudarstva i energetika Srbije i Geomagnetski Institut, Barex, Beograd, 1999.. <http://geoliss.mre.gov.rs/karte/geomorf300.html>
- [9] RAD7 RAD H₂O, Radon in Water Accessory, DURRIDGE Co., USA, 2012.
- [10] N. Todorović et al. Public exposure to radon in drinking water in Serbia. *Appl. Radiat. Isot.* 70, 2012a, 543–549.
- [11] E.H. El-Araby et al. Measurement of radon levels in water and the associated health hazards in Jazan, Saudi Arabia, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 12(1), 2019, 31–36.
- [12] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations. Report to the General Assembly, With Scientific Annexes, United Nations Sales Publication E.94.IX.2; United Nations: New York, 1993.
- [13] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations. Report to general assembly with scientific annexes. Annex B, New York, 2000.
- [14] V. Duggal et al. Risk assessment of radon in drinking water in Khetri Copper Belt of Rajasthan, India. *Chemosphere* 239, 2020, 124782

- [15] WHO, World Health Organisation. Guidelines for Drinking Water Quality, Vol. 1. pp.197-209,WHO Press, Geneva, 1988.
- [16] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume I, Annex A, New York, 2000.