

# SADRŽAJ PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA SA ISTORIJSKIH LOKALITETA U SVETU

**Jelena NIKOLIĆ, Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ i Nataša SARAP**  
*Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, jnikolic@vinca.rs*

## SADRŽAJ

*U radu su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih radionuklida u različitim uzorcima uzetim na istorijskim lokalitetima u Iranu, Kini, Indiji, Siriji i Jordanu. Uzorci su sadržali različite prirodne materijale korišćene u građevinarstvu i za proizvodnju predmeta lične upotrebe, kao i vodu, pesak i blato iz Mrtvog mora. Cilj ispitivanja je utvrđivanje sadržaja prirodnih radionuklida u uzorcima, računanje hazard indeksa i njihovo poređenje sa vrednostima preporučenim i izmerenim u materijalima koji su danas u upotrebi.*

### 1. Uvod

Prirodni radionuklidi  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  su osnovni konstituenti zemljine kore od nastanka planete. Zemlja se i dalje zagreva zahvaljujući energiji oslobođenoj u radioaktivnim raspadima dugoživećih radionuklida u jezgru. Takođe, poznato je da se ovi elementi nalaze i u sastavu stena i zemljišta na površini zemljine kore. Kao i danas, i u istorijskim vremenima, prirodni materijali kao što su glina, mermer, granit i pesak, bili su korišćeni u izgradnji objekata za stanovanje, različitih spomenika i malih artefakata. Stoga je interesantno ispitati sadržaj prirodnih radionuklida koji se nalaze u materijalim korišćenim za njihovu izradu. Tokom perioda 2008-2011. godine, u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, ispitivani su uzorci materijala sa različitih istorijskih lokaliteta u svetu. Lokaliteti su Palmira (Sirija), Petra, Mrtvo more i pustinja Vadi Ram (Jordan), Tadž Mahal (Indija), Ši An i jezero Taihu (Kina) i Iran. Ispitivani materijali su bazaltne stene, emajl, glina, pesak, mermer, kamen peščanik i krečnjak. U ovom radu su prikazani rezultati gamaspektrometrijskih merenja ovih uzoraka i izračunati radijum ekvivalent ( $R_{\text{eq}}$ ), jačina doze ( $\dot{D}$ ) i eksterni hazard indeks ( $H_{\text{ex}}$ )

### 2. Eksperimentalni deo

Uzorci su uzeti na različitim arheološkim lokalitetima: bazaltna stena koja je služila kao građevinski materijal za pustinjske dvorce (Jordan), kamen iz Palmire (Sirija), kamen i krečnjak iz Petre, pesak iz pustinje Vadi Ram, blato i pesak sa obale i voda iz Mrtvog mora (Jordan), kamen peščanik iz jezera Taihu i terakot vojnik i glina iz Kine (fabrika terakot vojnika u Ši Anu) i emajl iz Irana. Priprema uzoraka se sastojala od sušenja, mlevenja i odmeravanja u odgovarajuću geometriju merenja, odnosno plastičnu posudu od 100g. Uzorak vode pripreman je uparavanjem do zapremine od 200ml i meren u geometriji plastične boce iste zapremine [1, 2]. Uzorci su mereni odmah nakon pripreme, jer se pretpostavlja da je, s obzrom na lokacije uzorkovanja (istorijski lokaliteti, nije bilo obrade zemljišta niti značajnog pomeranja) ravnoteža prirodnih radionuklida u njima već postignuta.

Svi uzorci su mereni na HPGe detektorima relativne efikasnosti 23% i energetske rezolucije od 1.8 keV na energiji 1332 keV ( $^{60}\text{Co}$ ). Spektri su analizirani korišćenjem programa GENIE 2000. Aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$  je određena na osnovu njihovih potomaka: radijum na osnovu  $^{214}\text{Bi}$  (609 keV, 1120 keV i 1764 keV),  $^{214}\text{Pb}$  (295 keV i

352 keV) i torijum na osnovu  $^{228}\text{Ac}$  (338 keV i 911 keV). Aktivnost  $^{40}\text{K}$  je određena na osnovu njegove gama energije od 1460 keV. Sadržaj  $^{235}\text{U}$  je određen na osnovu gama energije od 143 keV, 163 keV i 186 keV uz oduzimanje doprinosa od  $^{226}\text{Ra}$ . Sadržaj  $^{238}\text{U}$  je određen na osnovu njegovih potomaka  $^{234}\text{Th}$  (63 keV) i  $^{234}\text{Pa}$  (1000 keV). Vreme merenja uzoraka je 60 000 s. Merenje fona je obavljano neposredno pre ili posle merenja uzoraka. Relativna merna nesigurnost svih rezultata je bila do 10% .

### 3. Rezultati i diskusija

Rezultati merenja uzoraka dati su u Tabeli 1, dok su vrednosti radijum ekvivalenta, jačine doze i eksternog hazard indeksa dati u Tabeli 2. Iz dobijenih rezultata se vidi da je sadržaj prirodnih radionuklida u materijalima koji su korišćeni u građevinarstvu (krečnjak, kamen i bazaltna stena) manji od sadržaja koji se može naći u današnjim građevinskim materijalima. Blato i voda iz mrtvog mora pokazuju visok sadržaj kalijuma koji potiče od organskih materija nataloženih na njegovom dnu. Interesantno je primetiti da emajl iz Irana takođe ima visok sadržaj kalijuma, što je verovatno posledica nekadašnjeg procesa proizvodnje ili eventualnih nataloženih organskih materija. U mermeru iz Tadž Mahala, aktivnost prirodnih radionuklida je ispod granice detekcije.

Radium ekvivalent indeks  $Ra_{eq}$  služi za normiranje doprinosa prirodnih radionuklida ukupnoj izloženosti jonizujućem zračenju i definisan je jednakošću [3, 4]

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad (1)$$

Gde su  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$  i  $C_K$ , specifične aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  respektivno u Bq/kg. U ispitivanim uzorcima, radijum ekvivalent je ispod 370 Bq/kg što je preporučena gornja granica [1].

Jačina eksterne apsorbovane doze 1m iznad tla,  $\dot{D}$ , je definisana kao

$$\dot{D} = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.042C_K \quad (2)$$

gde  $\dot{D}$  predstavlja jačinu doze izraženu u nGy  $\text{h}^{-1}$  i  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$  i  $C_K$  su specifične aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  respektivno. U gornjoj jednačini, pretpostavlja se da su svi potomci  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$  radioaktivnoj ravnoteži sa svojim roditeljima [5, 6, 7]. Vrednost dobijenih jačina eksterne apsorbovane doze u svim uzorcima odgovara proseku u zemljama Evrope [1].

Eksterni hazard indeks,  $H_{ex}$ , je definisan sa [8]

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \quad (3)$$

gde su  $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$  i  $C_K$ , specifične aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  respektivno u Bq/kg. Vrednost ovog indeksa mora biti manja od 1 (vrednost  $H_{ex}=1$  odgovara gornjoj preporučenoj granici  $Ra_{eq}=370$  bq/kg) da bi se uticaj radionuklida na okolinu smatrao zanemarljivim. U izmerenim uzorcima,  $H_{ex}$  je uvek manji od 1 [1].

### 4. Zaključak

U ovom radu su predstavljeni rezultati merenja uzoraka sa istorijskih lokacija u nekoliko zemalja sveta. Dobijene vrednosti koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida su u granicama ili ispod prosečnih vrednosti u svetu. Radium ekvivalent, jačina eksterne apsorbovane doze i eksterni hazard indeks ne premašuju preporučene granice. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je u istorijskim vremenima izloženost jonizujućim zračenjima koja potiču od prirodnih izvora u ondašnjim građevinskim

materijalima bila manja u poređenju sa današnjim građevinskim materijale, te da se sadržaj prirodnih radionuklida može u izvesnoj meri koristiti kao indikator namene određenih predmeta koji su ostali sačuvani tokom vremena.

**Tabela 1. Aktivnost prirodnih radionuklida u uzorcima [Bq/kg]**

|                                | <sup>226</sup> Ra | <sup>232</sup> Th | <sup>40</sup> K | <sup>238</sup> U | <sup>235</sup> U |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Bazaltna stena iz Jordana      | 4.5±0.9           | 5±1               | 253±25          | 14±3             | < 1.3            |
| Kamen iz Palmire               | 10±1              | 1.6±0.4           | 18±2            | 3±1              | 0.28±0.08        |
| Kamen iz Petre                 | 29±4              | 18±4              | 180±25          | 34±11            | 2.6±0.5          |
| Krečnjak iz Petre              | 16±2              | 9±1               | 11±1            | 18±3             | 0.50±0.05        |
| Pesak iz pustinje Vadi Ram     | 6.2±0.9           | 3.7±0.9           | 17±4            | < 15             | < 1.3            |
| Voda iz Mrtvog mora[Bq/l]      | < 0.5             | < 0.4             | 250±20          | < 7.9            | < 0.4            |
| Pesak sa obale Mrtvog mora     | 6.5±0.8           | 10±2              | 8±2             | 16±6             | 1.1±0.2          |
| Blato iz Mrtvog mora           | 20±2              | 16±2              | 520±40          | 34±8             | 2.0±0.2          |
| Emajl iz Irana                 | 6.1±0.9           | < 2               | 1390±90         | < 18             | 0.8±0.2          |
| Mermer iz Tadž Mahala          | < 3               | < 2               | < 10            | < 15             | < 1.3            |
| Kamen pešćanik iz jezera, Kina | 27±4              | 26±3              | 400±30          | 25±5             | 2.1±0.3          |
| Glina iz Kine                  | 41±5              | 46±5              | 610±50          | 30±10            | 1.2±0.2          |
| Terakot vojnik iz Kine         | 38±6              | 44±7              | 670±80          | 48±14            | 2.4±0.4          |

**Tabela 2 . Radijum ekvivalent ( $R_{eq}$ ), jačina doze ( $\dot{D}$ ) i hazard indeks ( $H_{ex}$ ) za merene uzorke**

| Uzorak                         | Indeks           |                                  |                  |
|--------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
|                                | $R_{eq}$ [Bq/kg] | $\dot{D}$ [nGy h <sup>-1</sup> ] | $H_{ex}$ [Bq/kg] |
| Bazaltna stena                 | 30.6             | 15.5                             | 0.08             |
| Kamen iz Palmire               | 13.6             | 6.3                              | 0.03             |
| Kamen iz Petre                 | 20.1             | 13.3                             | 0.06             |
| Krečnjak iz Petre              | 68.1             | 31.8                             | 0.19             |
| Pesak iz Vadi Rama             | 12.7             | 5.8                              | 0.04             |
| Pesak iz Mrtvog mora           | 21.1             | 9.4                              | 0.06             |
| Blato iz Mrtvog mora           | 82.7             | 40.9                             | 0.23             |
| Emajl iz Irana                 | 113.1            | 61.2                             | 0.31             |
| Mermer iz Tadž Mahala          | 0                | 0                                | 0                |
| Kamen pešćanik iz jezera, Kina | 94.2             | 45.0                             | 0.26             |
| Glina iz Kine                  | 152.4            | 72.3                             | 0.42             |
| Terakot vojnik iz Kine         | 151.3            | 72.4                             | 0.41             |

## 5. Reference

- [1] HASL-300. (1983) *Procedures Manual*. EML. New York.
- [2] Technical Report Ser. No. 295. (1989) Vienna.
- [3] J. Beretka, P. J. Mathew, Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by- products. *Health Physics* 48, (1985) 87.
- [4] K. N. Yu, Z. J. Guan, M. J. Stokes, E. C. M. Young, The assessment of the natural radiation dose committed to the Hong Kong people. *Journal of Environmental Radioactivity* 17, (1992) 31.
- [5] D. C. Kocher, A. L. Sjoreen, Dose-rate conversion factors for external exposure to photon emitters in soil. *Health Physics* 48, (1985) 193.
- [6] P. Jacob, H. G. Paretzke, H. Rosenbaum, M. Zankl, Effective dose equivalents for photon exposures from plane sources on the ground. *Radiation Protection Dosimetry* 14, (1986) 299.
- [7] K. C. Leung, S. Y. Lau, C. B. Poon, Gamma radiation dose rate from radionuclides in hong kong soil. *Journal of Environmental Radioactivity* 11, (1990) 279.
- [8] B. Ivanovic, Theoretical Statistics, (in Serbian), Yugoslav Institute for Economic Research, Belgrade, (1966), 176.

ABSTRACT

**CONTENT OF NATURALLY OCURRING RADIONUCLIDES IN SAMPLES  
TAKEN FROM WORLD HISTORICAL SITES**

**Jelena NIKOLIĆ, Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ, Nataša SARAP**  
*University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection  
Department, Belgrade, Serbia, jnikolic@vinca.rs*

This paper presents the results of the investigation of naturally occurring radionuclides content in different samples taken from the historical sites in Iran, China, Siria and Jordan. Samples contained different natural materials used in masonry, for making artefacts for personal use as well as water, sand and mud from the Dead sea. The aim was to ascertain the content of naturally occurring radionuclides, calculation of hazard indeces and their comparison to the values recommended and obtained in modern days materials.