



ЗБОРНИК РАДОВА



XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

2. - 4. октобар 2019. године
Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Дивчибаре
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXX SYMPOSIUM RPSSM
Divčibare
2nd - 4th October 2019**

**Belgrade
2019**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

2-4.10.2019.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник
в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-154-2

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

PRIRODNI RADIONUKLIDI U GRAĐEVINSKOM MATERIJALU U SRBIJI

Ljiljana JANKOVIĆ MANDIĆ¹, Snežana DRAGOVIĆ¹, Mirjana ČUJIĆ¹,
Jelena PETROVIĆ¹ i Antonije ONJIA²

- 1) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, PO Box 522, 11351
Beograd, Srbija, ljmandic@vin.bg.ac.rs, sdragovic@vin.bg.ac.rs,
cujicm@vin.bg.ac.rs, petrovicj@vin.bg.ac.rs
- 2) Univerzitet u Beogradu, Tehnološki-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000
Beograd, Srbija, onjia@tmf.bg.ac.rs

SADRŽAJ

Određivanje sadržaja radionuklida u materijalima koji se koriste u građevinarstvu veoma je važno u cilju procene radiološkog uticaja na zdravlje ljudi. U radu su prikazani rezultati gamaspektrometrijskog merenja prirodnih radionuklida u 94 uzorka građevinskog materijala (drvo, pesak, šljunak, opeka, mermer, granit, beton, staklo) koji je u upotrebi u Srbiji. Uzorci su analizirani u periodu 2016 - 2019. godine i opseg izmerenih aktivnosti radionuklida bio je: ^{226}Ra (5-180) Bq/kg, ^{232}Th (8-260) Bq/kg ^{40}K , (20-1480) Bq/kg. Za sve materijale određen je gama indeks i rezultati su upoređeni sa relevantnim podacima iz literature i propisa.

1. Uvod

Savremena građevinska industrija mora da zadovolji niz standarda koji odgovaraju utvrđenim međunarodnim propisima. Građevinski materijali sadrže prirodne radionuklide, a zračenje poreklom od građevinskih materijala neophodno je kontrolisati, posebno u urbanim sredinama gde stanovništvo provodi i do 80% vremena u zatvorenim prostorijama [1]. Zbog toga je procena radijacionog rizika neophodna, posebno kod materijala koji mogu sadržati povećane koncentracije ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K .

U građevinskoj industriji u upotrebi su prirodni i veštački materijali. Prirodni građevinski materijali koriste se bez prethodne tehnološke prerade, kao što su drvo, kamen, pesak, šljunak, glina. Veštački materijali, kao što su: kreč, gips, cement, malter, beton, se proizvode posebnim tehnološkim postupcima.

Drvo je najstariji prirodni građevinski materijal, koje ima veliku čvrstoću, a malu težinu, nisku toplotnu provodljivost, lako se obrađuje i lako je i zapaljivo. Koristi se kao: obla, tesana i rezana građa. U građevinarstvu se koriste i prerađevine od drveta: furnir, šperploča, panel-ploča, iverica, lesanit ploča.

Kamen je najzastupljeniji i najtrajniji građevinski materijal. Koristi se obrađen i neobrađen. Najpoznatije vrste kamena su: granit, krečnjak, pešćar, mermer.

Pesak i šljunak su delovi nevezanih sedimentnih stena, veličine zrna peska od 0,05 do 2 mm, u kome preovlađuju minerali kvarca, granita, cirkona, apatita, turmalina i drugih koji se koriste u proizvodnji betona, cigli, maltera.

Beton се добија се мешањем vezivnog materijala (cementa), agregata (šljunka, peska, tucanog kamena) i vode. Koristi se za izgradnju puteva, temelja, zgrada, mostova, kamenih blokova.

Glina je osnovna sirovina od koje se dobijaju pečeni glineni materijali, odnosno opekarski i keramički proizvodi. Nastaje raspadanjem sedimentnih stena koje sadrže minerale alumosilikate. Najzastupljeniji minerali su kaolinit, hidroliskun, monmorionit, ali sadrži druge sastojke kao što su kvarc, kalcit, feldspat, muskovit, pirit.

Opeka se dobija mlevenjem, mešaњem, uobličavanjem, sušenjem i pečenjem gline. Za proizvodnju cigli, blokova i crepa koriste se gline sa većim sadržajem krečnjaka i peska. Koriste se za gradnju zidova i imaju veliku čvrstoću na pritisak. Mogu biti napravljene kao pune i šuplje, različitog kvaliteta i cene. Pored keramičkih blokova, napravljenih pečenjem gline, koriste se i betonski i laki blokovi.

Staklo je homogeni amorfní tvrdi providni materijal. Sadrži oko 75% silicijum dioksida, natrijum oksida, kalcijum oksida i malo aditiva. Kvarcno staklo je napravljeno od čistog silicijum dioksida. Koristi se za prozore, pregradne zidove.

U ovom radu određen je sadržaj prirodnih radionuklida u građevinskom materijalu koji se koristi u Srbiji i na osnovu dobijenih rezultata izračunat je gama indeks sa ciljem procene radijacionog rizika.

2. Materijal i metoda

U periodu 2016-2019. godine analizirano je 8 grupa građevinskog materijala (ukupno 94 uzorka) sakupljenog na teritoriji Srbije.

Uzorci građevinskog materijala su usitnjeni i upakovani u Marinelli posude zapremine 0,5 L, koje su hermetički zatvorene i ostavljene da stoje 40 dana radi uspostavljanja ravnoteže između ^{238}U i ^{232}Th i njihovih potomaka. Nakon toga uzorci su mereni gamaspektrometrijski na poluprovodničkom HPGe ORTEC – AMETEK detektoru rezolucije 1,85 i relativne efikasnosti 47% na 1,33 MeV za ^{60}Co prema standardnoj metodi IAEA [2]. Energetska kalibracija i kalibracija efikasnosti detektora određena je koristeći radioaktivni standard AMERSHAM. Vreme merenja uzorka bilo je 60000s, dok je osnovno zračenje mereno 250000s. Obrada spektara izvršena je pomoću softverskog paketa Gamma Vision.

Na osnovu izmerenih sadržaja prirodnih radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K izračunat je gama indeks prema jedanačini:

$$I = C_{\text{Ra}}/300 + C_{\text{Th}}/200 + C_{\text{K}}/3000 \quad (1)$$

gde su:

C_{Ra} – koncentracija aktivnosti radijuma (^{226}Ra) u Bq/kg;

C_{Th} - koncentracija aktivnosti torijuma (^{232}Th) u Bq/kg;

C_{K} - koncentracija aktivnosti kalijuma (^{40}K) u Bq/kg; .

Gama indeks se odnosi na dozu gama zračenja, iznad uobičajenog izlaganja zračenju na otvorenom, u zgradi izgrađenoj od građevinskog materijala za koji se računa indeks. Indeks se primenjuje na građevinski materijal, a ne na njegove komponente, osim u slučaju kada te komponente i same predstavljaju građevinske materijale i posebno se procenjuju kao takve. Prema zakonskoj regulativi Republike Srbije svi materijali čiji je gama indeks manji od 1 smatraju se radiološki pouzdanim [3].

3. Rezultati i diskusija

U tabeli 1 predstavljeni su opsezi koncentracija aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorcima građevinskog materijala koji potiču ili se koriste u Srbiji.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorcima građevinskog materijala.

Uzorak	Broj uzoraka	^{226}Ra (Bq/kg)		^{232}Th (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)		I
		min	max	min	max	min	max	
Drvo	10	10±1	35±4	8±1	36±4	25±2	440±50	0,08-0,44
Pesak	12	12±1	44±5	15±1	35±4	32±3	320±30	0,12-0,43
Šljunak	15	10±1	55±6	13±1	33±4	40±4	410±40	0,11-0,48
Opeka	18	22±2	56±6	29±3	77±8	250±25	880±90	0,30-0,86
Beton	10	21±2	72±7	18±2	55±6	25±3	1050±100	0,17-0,87
Mermer	9	10±1	62±6	14±1	74±7	48±5	780±80	0,12-0,84
Granit	12	82±8	180±20	47±5	260±30	810±75	1480±170	0,78-2,40
Staklo	8	5±1	42±4	12±1	47±5	20±2	88±10	0,12-0,40
Opseg	94	5±1	180±20	8±1	260±30	20±2	1480±170	0,08-2,40

Dobijeni rezultati ukazuju na to da se najveće koncentracije radionuklida nalaze u granitu, a najmanje u drvetu i staklu. Dobijeni podaci mogu se uporediti sa istraživanjima sadržaja prirodnih radionuklida u građevinskom materijalu u svetu (tabela 2). Koncentracije aktivnosti ^{232}Th i ^{40}K u drvetu poreklom sa Kube [4] su višestruko manje nego u Srbiji, gde su izmerene vrednosti u opsegu od (10-35) Bq/kg za ^{226}Ra , (8-36) Bq/kg za ^{232}Th i (25-440) Bq/kg za ^{40}K . Drvo ima gama indeks od 0,08-0,44, a staklo od 0,12-0,40.

Gama indeks u Srbiji, za pesak je u opsegu od 0,12-0,43, a šljunak od 0,11-0,48 i ove vrednosti se nalaze se u opsegu uobičajenih vrednosti za pesak i šljunak u svetu.

Gama indeks za uzorke opeke iznosio je od 0,30-0,86, a za beton od 0,17-0,87, ove vrednosti su u skladu sa vrednostima za ove materijale u svetu.

Svi analizirani uzorci mermera u Srbiji su bili radiološki ispravni, a njihov gama indeks bio je ispod jedan, u opsegu od 0,12-0,84.

U ovom radu analizirano je 12 uzoraka granita, od kojih su četiri imala gama indeks veći od 1. U uzorcima granita izmerene vrednosti bile su u opsegu (82-180) Bq/kg za ^{226}Ra , (47-260) Bq/kg za ^{232}Th i (810-1480) Bq/kg za ^{40}K , a gama indeks od 0,8-2,40. Upotreba granita u zatvorenom prostoru može dovesti do dugotrajnog izlaganja stanovništva štetnom uticaju jonizujućeg zračenja. Referentni nivo za spoljašnje zračenje u zatvorenom prostoru, koje potiče od gama emitera iz građevinskog materijala ne uključujući spoljašnje zračenje na otvorenom prostoru, je 1 mSv godišnje [3]. Maksimalna vrednost doze jednog analiziranog uzorka granita je 2,8 mSv godišnje, što je oko tri puta veće od referentnog nivoa i može dovesti do značajnog povećanja doze kod stanovništva koje bi ga koristilo. Upotreba svih uzoraka čiji je gama indeks veći od 1 je ograničena.

Prema podacima istraživanja u svetu gama indeks veći od 1 imali su uzorci mermera iz Kine – 1,8 [11] i uzorci granita iz Egipta- 2,1 [10] i Holandije – 3,5 [12].

Радиоэкологја и излагање становништва

Tabela 2. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorcima građevinskog materijala u svetu.

	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	I
Drvo				
Kuba [4]	6	1	9	0,03
<i>Ovaj rad</i>	<i>10-35</i>	<i>8-36</i>	<i>25-440</i>	<i>0,08-0,44</i>
Pesak				
Australija [5]	3	40	44	0,22
Izrael [6]	12	4	51	0,08
Jemen [7]	21	28	1118	0,58
Kina [8]	39	47	573	0,56
Kuba [4]	17	16	208	0,21
Srbija [9]	26	30	210	0,31
	3-39	4-47	44-1118	0,08-0,58
<i>Ovaj rad</i>	<i>12-44</i>	<i>15-35</i>	<i>32-320</i>	<i>0,12-0,43</i>
Šljunak				
Izrael [6]	15	3	50	0,08
Jemen [7]	22	16	410	0,30
Kuba [4]	20	13	134	0,18
	15-22	3-16	50-410	0,08-0,30
<i>Ovaj rad</i>	<i>10-55</i>	<i>13-33</i>	<i>40-410</i>	<i>0,11-0,48</i>
Opeka				
Australija [5]	41	89	681	0,81
Egipat [10]	33	34	316	0,39
Jemen [7]	55	37	1256	0,79
Kina [8]	41	52	717	0,63
Kuba [1]	57	12	857	0,54
	33-41	12-89	316-681	0,39-0,81
<i>Ovaj rad</i>	<i>22-56</i>	<i>29-77</i>	<i>250-880</i>	<i>0,30-0,86</i>
Beton				
Egipat [10]	32	25	289	0,33
Jemen [7]	37	32	734	0,53
Kuba [4]	25	12	595	0,34
	25-37	12-32	289-595	0,33-0,53
<i>Ovaj rad</i>	<i>21-72</i>	<i>18-55</i>	<i>25-1050</i>	<i>0,17-0,87</i>
Mermer				
Kina [11]	8-157	6-166	44-1353	0,07-1,8
Pakistan [11]	4-63	9-40	7-105	0,06-0,4
Turska [11]	10-92	4-122	28-676	0,06-1,1
	4-157	4-166	7-1353	0,06-1,8
<i>Ovaj rad</i>	<i>10-62</i>	<i>14-74</i>	<i>48-780</i>	<i>0,12-0,84</i>
Granit				
Egipat [10]	56	54	4819	2,1
Grčka [11]	77	91	929	1,0
Holandija [12]	162	490	1540	3,5
Italija [11]	64	91	1206	1,0
	56-162	54-490	929-4819	1,0-3,5
<i>Ovaj rad</i>	<i>82-180</i>	<i>47-260</i>	<i>810-1480</i>	<i>0,78-2,40</i>

4. Zaključak

Koncentracije aktivnosti radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K koje su izmerene u građevinskom materijalu, nalazi se u širokom opsegu vrednosti i u materijalima iste vrste i uzorcima koji potiču iz različitih delova sveta. Svi analizirani uzorci u Srbiji sem granita su imali gama indeks ispod jedan i bili su radiološki ispravni.

U cilju smanjivanja radijacionog rizika potrebno je odrediti sadržaj prirodnih radionuklida pre upotrebe građevinskog materijala, odnosno pre početka izgradnje objekata.

5. Zahvalnica

Rad je finasiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekat III 43009).

6. Literatura

- [1] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Annex B. Exposure from Natural Sources of Radiation, Unated Nations, New York, 2000.
- [2] IAEA (International Atomic Energy Agency), Measurement of Radionuclides in Food and the Environment; Technical Report Series 295, Vienna, 1989.
- [3] Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet, Sluzbeni Glasnik Srbije 36/2018.
- [4] O.Brigido Flores, A.Montalvan Estrada, R.Rosa Suarez, J.Tomas Zerquera,A. Hernandez Perez. Natural radionuclide content in building materials anad gamma dose rate in dwellings in Cuba. *J. Environ. Radioact.* 99, 2008, 1834-1837.
- [5] J.Beretka, P.J.Mathew. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial waste and by-products. *Healht Phys.* 48,1985,87-95.
- [6] K.Kovler, G.haquin, V.Manasherov, E.Neeman, N.Lavi. Natural radionuclides in building materials available in Israel. *Build Environ.* 37, 2002, 531-537.
- [7] A.I.A.El-Mageed, M.El-AzadFarid, E.E.Saleh, M.Mansour, A.K.Mohammed. Natural radioactivity and radiological hazards of some building materials of Aden,Yemen. *J.Geochem.Explor.* 140, 2014, 41-45.
- [8] P.Ziqiang, Y.Yin, G.Mingqiang. Natural radiation and radioactivity in China. *Radiat. Prot.Dosim.* 24, 1988, 88-99.
- [9] G. Pantelić, D. Todorović, J. Nikolić, M. Rajačić, M. Janković, N. Sarap. Measurement of radiactivity in building materials in Serbia, *J.Radioanal. Nucl.Chem.* 303, 2015, 2517-2522.
- [10] B.M. Moharram, M.N. Suliman, N.F. Zahran, S.E. Shennawy, A.R.El. Sayed. External exposure doses due to gamma emitting natural radionuclides in some Egiptain building materials, *Appl. Radiat. Isot.* 70, 2012, 241-248.
- [11] R.I. Mahamed, S.K. Algamdi, N.S.Al-Shamani, Evaluation of radionuclide

concentration and associated radiological hazard in marble indices and granite used as materials in Al-Madinah Al-Munawarah, *JTUSCI*,10, 2016, 369-374.

- [12] M. Tzortzis, H. Tsertos, S. Christofides, G. Christodoulides,. Gamma radiation measurements and dose rate in commercially-used natural tiling rocks(granites). *J. Environ. Radioact.* 70, 2003, 223–235.

NATURAL RADIONUCLIDES IN BUILDING MATERIALS IN SERBIA

**Ljiljana JANKOVIĆ MANDIĆ¹, Snežana DRAGOVIĆ¹, Mirjana ČUJIĆ¹,
Jelena PETROVIĆ¹ and Antonije ONJIA²**

*1)University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, PO Box 522, 11351 Belgrade, Serbia, ljmandic@vin.bg.ac.rs,sdragovic@vin.bg.ac.rs,cujicm@vin.bg.ac.rs,
petrovicj@vin.bg.ac.rs*

2)University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Karnegijeva 4, Belgrade, Serbia, onjia@tmf.bg.ac.rs

ABSTRACT

Determination of radionuclides in building materials is very important in order to assess the radiological impact on human health. The paper presents the results of gamma ray spectrometry measurement of natural radionuclides in 94 samples of building materials (wood, sand, gravel, brick, concrete, marble, granite, glass) collected from the territory of Serbia in the period from 2016 to 2019. The activity concentrations for ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K from the building materials ranged from (5-180) Bq/kg, (8-260) Bq/kg, (20-1480) Bq/kg, respectively. For all materials, a gamma index was determined and the results are compared with the relevant literature and regulation data.