

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



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

## PROCJENE GUSTINE FLUKSA RADONA IZ TLA ZA TERITORIJU CRNE GORE

**Nikola SVRKOTA<sup>1</sup> i Nevenka M. ANTOVIĆ<sup>2</sup>**

1) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora,  
nikola.svrkota@ceti.co.me

2) Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora,  
nena@rc.pmf.ac.me

### SADRŽAJ

Gustina fluksa  $^{222}\text{Rn}$  iz tla, na površini suvog zemljišta, procijenjena je na osnovu koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u zemljištu u Crnoj Gori. Na osnovu prethodno objavljenih podataka i novih mjerenja, analizirano je ukupno 56 lokacija, i obuhvaćeni su svi regioni (primorski, centralni i sjeverni). Mjerne tačke bile su u svim gradovima Crne Gore, sa pogušenjima u Podgorici (ukupno 13 mjernih tačaka), Nikšiću (12 mjernih tačaka) i Mojkovcu (13 mjernih tačaka). Za 56 lokacija, koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u zemljištu su u opsegu (11-216) Bq/kg, sa srednjom vrijednošću 41.3 Bq/kg. Procijenjene gustine fluksa  $^{222}\text{Rn}$  na površini suvog zemljišta su u opsegu (0,005-0,077) Bq/(m<sup>2</sup>s), sa srednjom vrijednošću 0,013 Bq/(m<sup>2</sup>s). Ova srednja vrijednost gustine fluksa radona iz tla ne odstupa značajno od srednjeg fluksa koji je procijenjen za svjetski nivo – 0,016 Bq/(m<sup>2</sup>s), prema izvještaju UNSCEAR 2000. Analize za područja Podgorice, Nikšića i Mojkovca, pokazale su da je gustina fluksa radona iz tla najveća u Nikšiću (srednja vrijednost 0,018 Bq/(m<sup>2</sup>s)).

### 1. UVOD

Poznato je da su, od svih izotopa radona (Rn), najznačajniji radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), toron ( $^{220}\text{Rn}$ ) i aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ), koji se, kao gasoviti produkti, javljaju u radioaktivnim nizovima  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{235}\text{U}$ , respektivno.

Prema izvještajima Naučnog komiteta za efekte zračenja Ujedinjenih nacija (UNSCEAR), srednjoj godišnjoj efektivnoj dozi koju, na svjetskom nivou, čovjek primi od svih prirodnih izvora jonizujućih zračenja (2,4 mSv), dominantno doprinosi inhalacija radona (1,15 mSv, tj. oko 48%) [1, 2]. Istovremeno,  $^{222}\text{Rn}$  i njegovi potomci mogu izazvati kancer pluća. Međunarodna agencija za istraživanje kancera (IARC) Svjetske zdravstvene organizacije, u monografijama iz 1988. i 2012. godine [3, 4], radon i produkte njegovog raspada svrstava u kancerogene iz grupe 1, tj. sa *dovoljno dokaza kod ljudi*, uz napomenu da su uočene i određene veze između pojave leukemije i izlaganja radonu.

Osnovni izvori radona u zatvorenom prostoru (*indoor*), gdje su njegove koncentracije aktivnosti obično značajno veće od onih u vazduhu napolju, su tlo ispod objekta i korišćeni građevinski materijal. Građevinski materijal je značajan izvor radona u slučajevima kada sadrži povećane nivoe aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ , radioaktivnog roditelja  $^{222}\text{Rn}$ , i kada je porozan dovoljno da dozvoljava emanaciju radona.

U Crnoj Gori, u kojoj su rađena sistematska istraživanja koncentracija radona *indoor* [5-8], njegov glavni izvor je tlo ispod objekta.

Ilustracije radi, na Primorju Crne Gore, 2002-2003. godine, pasivnim dozimetrima, izmjerene su koncentracije aktivnosti radona u 126 stanova u ljetnjem periodu, 116 u zimskom periodu, i u 107 stanova u toku cijele godine [5]. Srednja vrijednost, standardna

devijacija, geometrijska sredina, geometrijska standardna devijacija, minimalna izmjerena vrijednost, maksimalna izmjerena vrijednost, kao i medijana *indoor* koncentracija radona za ljetnji period, bile su: 22,2 Bq/m<sup>3</sup>, 20,1 Bq/m<sup>3</sup>, 14,6 Bq/m<sup>3</sup>, 2,9 Bq/m<sup>3</sup>, ≤1,5 Bq/m<sup>3</sup>, 175 Bq/m<sup>3</sup> i 15,4 Bq/m<sup>3</sup>, respektivno [5]. U zimskom periodu, ove vrijednosti su bile: 42,7 Bq/m<sup>3</sup>, 37,8 Bq/m<sup>3</sup>, 31 Bq/m<sup>3</sup>, 2,4 Bq/m<sup>3</sup>, 4 Bq/m<sup>3</sup>, 344 Bq/m<sup>3</sup> i 30,5 Bq/m<sup>3</sup>, respektivno, a za godišnje ekspozicije: 31,8 Bq/m<sup>3</sup>, 23,4 Bq/m<sup>3</sup>, 25,5 Bq/m<sup>3</sup>, 2,1 Bq/m<sup>3</sup>, 3 Bq/m<sup>3</sup>, 202 Bq/m<sup>3</sup> i 25,1 Bq/m<sup>3</sup>, respektivno [5].

U glavnom gradu, Podgorici, *indoor* koncentracije radona izmjerene su u 89 stanova u toku cijele godine, u 94 stana u ljetnjem periodu i u 90 stanova u zimskom periodu [6], pokazujući maksimalne vrijednosti 557 Bq/m<sup>3</sup>, 262 Bq/m<sup>3</sup> i 851 Bq/m<sup>3</sup>, respektivno. Srednje vrijednosti bile su 70 Bq/m<sup>3</sup>, 34,9 Bq/m<sup>3</sup> i 107 Bq/m<sup>3</sup>, a geometrijske sredine 36,4 Bq/m<sup>3</sup>, 21,8 Bq/m<sup>3</sup> i 47,8 Bq/m<sup>3</sup>, respektivno.

Kad je u pitanju koncentracija radona u zemljištu, mjerenja pasivnim radiometrom, izvršena krajem 1994. godine, u četiri oblasti u Podgorici – Tološi, Beri, Momišići i Zabjelo [9], na 67 mjernih tačaka, pokazala su srednju vrijednost koncentracije radona od 37 kBq/m<sup>3</sup>, sa standardnom devijacijom 16 kBq/m<sup>3</sup> i medijanom 34,2 kBq/m<sup>3</sup> [9]. Nema drugih podataka o koncentracijama radona u zemljištu u Crnoj Gori. Međutim, nedavno je izvršen određen broj mjerenja koncentracija aktivnosti radona u zemljištu na gradskom području Podgorice – radonskim detektorom RAD7, i po prvi put su urađene procjene tih koncentracija na osnovu koncentracija aktivnosti <sup>226</sup>Ra u uzorcima zemljišta sa istih lokacija.

U ovom radu, a na osnovu koncentracija aktivnosti <sup>226</sup>Ra u površinskom sloju zemljišta na 56 lokacija u Crnoj Gori, izvršene su procjene gustine fluksa radona iz tla, na površini suvog zemljišta. Uz rezultate novih mjerenja, korišćeni su i prethodno dobijeni rezultati koji se odnose na Mojkovac [10], Nikšić [11], a dijelom i na Crnu Goru [12].

## 2. MATERIJAL I METODE

Na 56 lokacija na teritoriji Crne Gore (slika 1), u svim gradovima i uz dodatna pogošćenja u Podgorici (ukupno 13 mjernih tačaka), i ranije u Mojkovcu (13 mjernih tačaka) i Nikšiću (12 mjernih tačaka), izvršeno je uzorkovanje površinskog sloja zemljišta. Uzorkovanje je vršeno u standardnoj proceduri [13, 14], sa površine (25 cm x 25 cm) uklanja se gornji sloj, a zatim je uziman uzorak sa dubine do 5 cm. Uzorci su zatim sušeni prirodno, ili u sušnici (8 sati na 100 °C). Uzorci su zatim prosijavani kroz sito otvora 2 mm, mjerene su mase prosijanih uzoraka, koji su zatim hermetizovani silikon-skim ljepilom – najčešće u Marineli posudama zapremine 1 L ili 0,5 L. Mjerenje uzoraka vršeno je ORTEC HPGe spektrometrima GEM – 30185-S relativne efikasnosti 35% i GEM – 40190 relativne efikasnosti 41%. Spektrometar GEM – 30185-S ima FWHM: 1,72 keV na 1,33 MeV (<sup>60</sup>Co), 700 eV na 122 keV (<sup>57</sup>Co), i brzinu brojanja fona 0,98 imp/s, dok spektrometar GEM – 40190 ima FWHM: 1.80 keV na 1,33 MeV (<sup>60</sup>Co), 840 eV na 122 keV (<sup>57</sup>Co), i brzinu brojanja fona 1,23 imp/s. Spektrometri su kalibrisani koristeći odgovarajuće kalibracione standarde, a mjerenje, tj. određivanje aktivnosti <sup>226</sup>Ra, vršeno je nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteža sa potomcima, koji se raspadaju uz emisiju gama zračenja. Pri nedavnim mjerenjima uzoraka zemljišta sa gradskog područja Podgorice, na primjer, za kalibraciju je korišćen standard MBSS 2 (300415-1503041), *Czech Metrology Institute*, u Marineli posudi od 0,5 L, tj. miks radionuklida ukupne aktivnosti 41,46 kBq (01.06.2015. godine). Uzorci zemljišta takođe su bili u Marineli posudama 0,5 L, i svi su snimani po 30 000 s živog vremena. Korišćen

je softver Gamma Vision 32 [15] (kao i u slučaju svih ostalih uzoraka), a aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  određena je kao srednja vrijednost aktivnosti koje su dobijene iz snimljenih spektara, tj. fotopikova na energijama 295 keV, 352 keV, 609 keV, 1120 keV i 1764 keV (gama zraka koji prate raspade  $^{214}\text{Pb}$  i  $^{214}\text{Bi}$ , u nizu  $^{226}\text{Ra}$ ).



**Slika 1. Karta Crne Gore i lokacija uzorkovanja zemljišta**

Izmjerene koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u uzorcima površinskog zemljišta sa teritorije Crne Gore iskorišćene su za procjene gustine fluksa radona. Naime, gustina fluksa radona iz tla (u  $[\text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})]$ ), na površini suvog zemljišta, prema izvještaju UNSCEAR 2000 je [1]:

$$J_D = C_{\text{Ra}} \lambda_{\text{Rn}} f \rho (1 - \varepsilon) L, \quad (1)$$

gdje je  $C_{\text{Ra}}$  koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ),  $\lambda_{\text{Rn}}$  je konstanta raspada  $^{222}\text{Rn}$  ( $2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ),  $f$  je faktor emanacije (0,2),  $\rho$  je gustina zemljišta,  $\varepsilon$  je poroznost (0,25),  $L$  je difuziona dužina ( $(D_e/\lambda_{\text{Rn}})^{1/2}$ , gdje je  $D_e$  efektivni difuzioni koeficijent,  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  [1]).

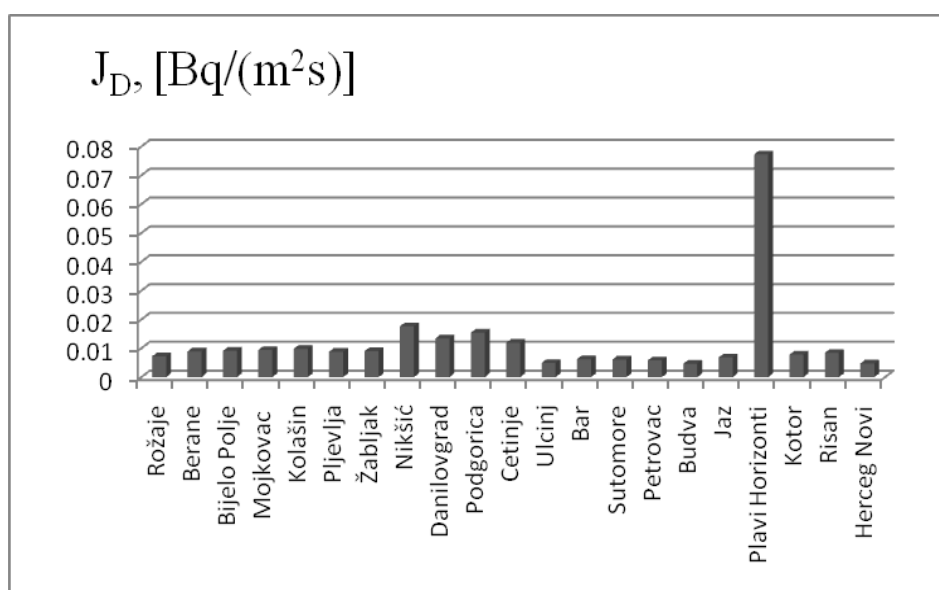
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1, dati su rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta, kao i procjene gustine fluksa radona iz tla na istim lokacijama, predstavljene i na slici 2. Za Mojkovac, Nikšić i Podgoricu, date su usrednjene vrijednosti – za 13, 12 i 13 lokacija, respektivno.

Tabela 1. Izmjerene koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta i procjene gustine fluksa radona iz tla u Crnoj Gori

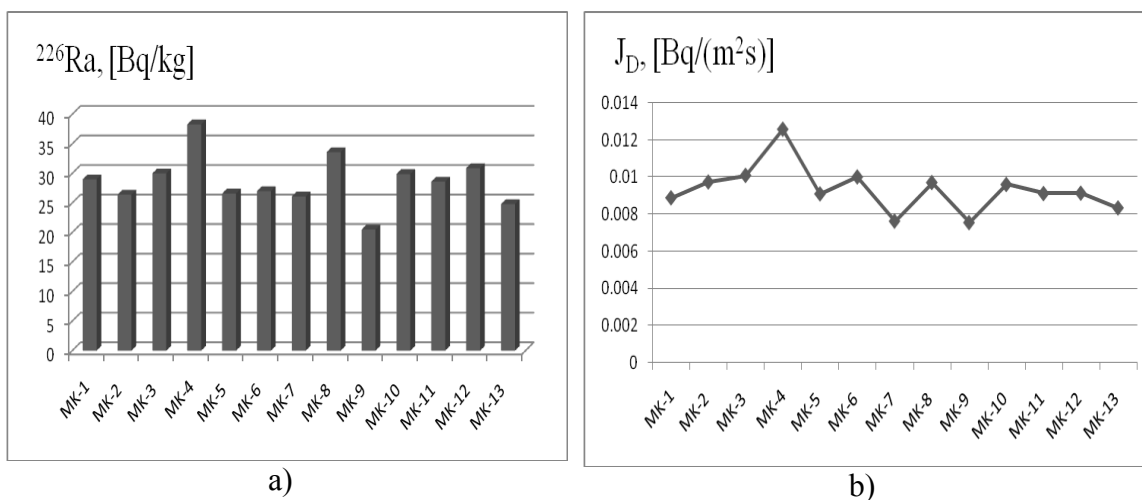
Lokacija	Koncentracija aktivnosti $^{226}\text{Ra}$ [Bq/kg]	Gustina zemljišta [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Gustina fluksa radona iz tla, $J_D$ [ $\text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$ ]
Rožaje	$28,9 \pm 1,0$	810	$0,0072 \pm 0,0002$
Berane	$26,4 \pm 0,9$	1099	$0,0089 \pm 0,0003$
Bijelo Polje	$30,1 \pm 1,0$	988	$0,0091 \pm 0,0003$
Mojkovac*	$28,6 \pm 1,8$	1070	$0,0094 \pm 0,0006$
Kolašin	$29,9 \pm 1,6$	1066	$0,0098 \pm 0,0005$
Pljevlja	$27,3 \pm 1,0$	1052	$0,0088 \pm 0,0003$
Žabljak	$39,5 \pm 1,3$	740	$0,0090 \pm 0,0003$
Nikšić*	$57,9 \pm 1,9$	987	$0,0176 \pm 0,0006$
Danilovgrad	$40,2 \pm 1,4$	1085	$0,0134 \pm 0,0005$
Podgorica*	$45,5 \pm 1,1$	1104	$0,0154 \pm 0,0004$
Cetinje	$47,7 \pm 1,6$	813	$0,0119 \pm 0,0004$
Ulcinj	$11,0 \pm 0,4$	1453	$0,0049 \pm 0,0002$
Bar	$18,3 \pm 0,6$	1109	$0,0062 \pm 0,0002$
Sutomore	$22,6 \pm 0,6$	877	$0,0061 \pm 0,0002$
Petrovac	$18,3 \pm 0,7$	1034	$0,0058 \pm 0,0002$
Budva	$13,4 \pm 0,5$	1109	$0,0046 \pm 0,0002$
Jaz	$21,4 \pm 0,7$	1040	$0,0068 \pm 0,0002$
Plavi Horizonti	$216 \pm 7$	1162	$0,0772 \pm 0,0025$
Kotor	$22,1 \pm 0,8$	1146	$0,0078 \pm 0,0003$
Risan	$25,2 \pm 1,0$	1080	$0,0084 \pm 0,0003$
Herceg Novi	$15,1 \pm 0,6$	1021	$0,0047 \pm 0,0002$

\*srednje vrijednosti



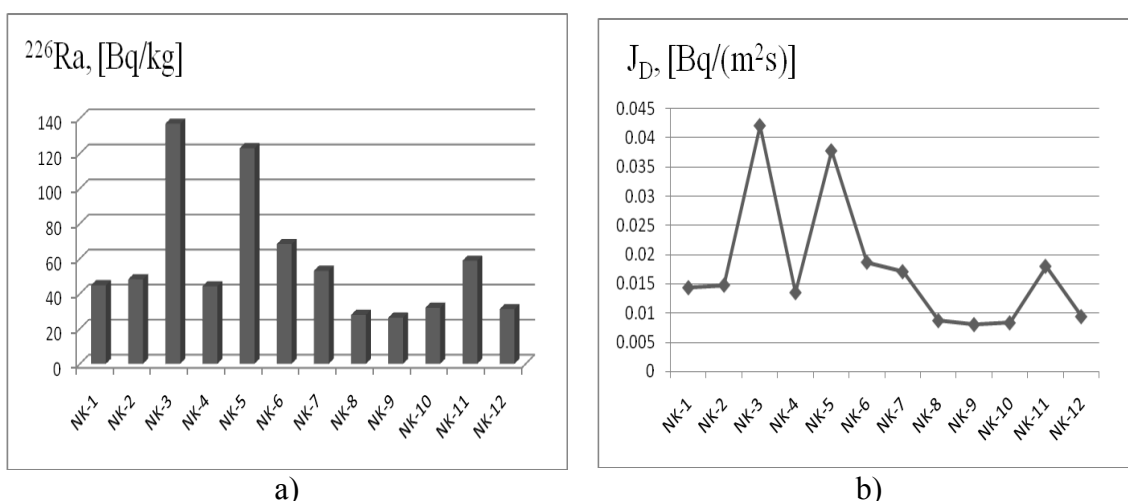
Slika 2. Gustina fluksa radona iz tla u Crnoj Gori

Rezultati za Mojkovac predstavljeni su na slici 3. Koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta na 13 lokacija u ovom gradu bila je u opsegu (20,5-38,3) Bq/kg, sa srednjom vrijednošću 28,6 Bq/kg, standardnom devijacijom 4,34 Bq/kg i medijanom 28,6 Bq/kg. Gustina fluksa radona iz tla (procijenjena pomoću izraza (1)), na istim lokacijama, bila je u opsegu (0,0076-0,0126) Bq/(m<sup>2</sup>s), sa srednjom vrijednošću 0,0094 Bq/(m<sup>2</sup>s), standardnom devijacijom 0,0013 Bq/(m<sup>2</sup>s) i medijanom 0,0091 Bq/(m<sup>2</sup>s),



**Slika 3. Mojkovac: koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta (a), gustina fluksa radona iz tla (b)**

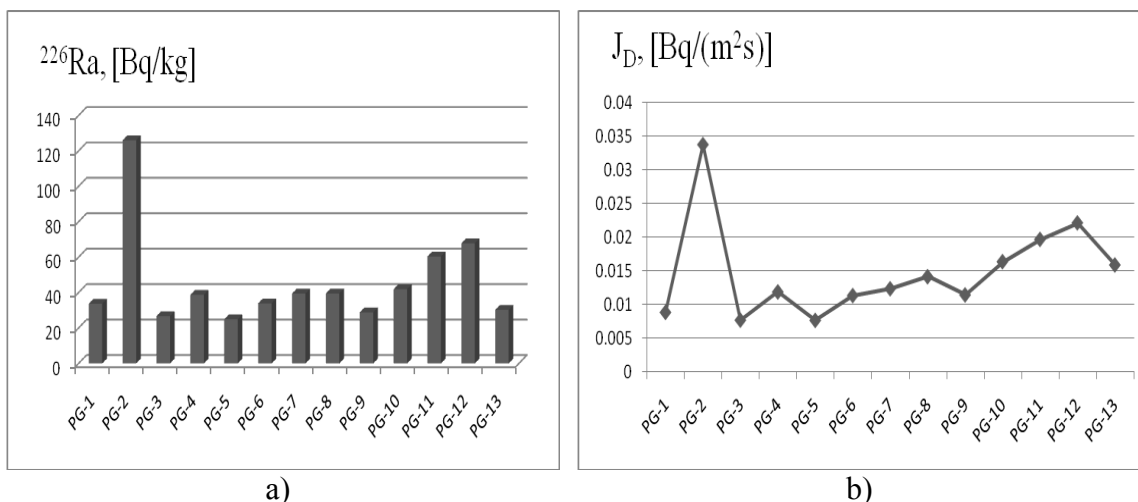
Rezultati za Nikšić prikazani su na slici 4. Koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta na 12 lokacija u ovom gradu bila je u opsegu (26,3-137) Bq/kg, sa srednjom vrijednošću 57,9 Bq/kg, standardnom devijacijom 36,1 Bq/kg i medijanom 46,5 Bq/kg. Procijenjena gustina fluksa radona iz tla bila je u opsegu (0,0081-0,042) Bq/(m<sup>2</sup>s), sa srednjom vrijednošću 0,0176 Bq/(m<sup>2</sup>s), standardnom devijacijom 0,0111 Bq/(m<sup>2</sup>s) i medijanom 0,0146 Bq/(m<sup>2</sup>s).



**Slika 4. Nikšić: koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta (a), gustina fluksa radona iz tla (b)**



Rezultati za Podgoricu predstavljeni su na slici 5. Koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta na 13 lokacija na gradskom području glavnog grada Crne Gore bila je u opsegu (24,9-126) Bq/kg, sa srednjom vrijednošću 45,5 Bq/kg, standardnom devijacijom 27,2 Bq/kg i medijanom 38,7 Bq/kg. Gustina fluksa radona iz tla bila je u opsegu (0,0077-0,0337) Bq/(m<sup>2</sup>s), sa srednjom vrijednošću 0,0149 Bq/(m<sup>2</sup>s), standardnom devijacijom 0,0072 Bq/(m<sup>2</sup>s) i medijanom 0,0124 Bq/(m<sup>2</sup>s).



**Slika 5. Podgorica: koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta (a), gustina fluksa radona iz tla (b)**

Za poređenje, statističke analize izmjerenih koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom sloju zemljišta na 56 lokacija u Crnoj Gori date su u tabeli 2, kao i podaci iz literature koji se odnose na svijet, južnu Evropu i pojedina područja u Crnoj Gori. Poređenja pokazuju da je srednja vrijednost koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u zemljištu u Crnoj Gori (41,3 Bq/kg) nešto veća nego na svjetskom nivou i u južnoj Evropi. Kad su u pitanju pojedina ispitivana područja u Crnoj Gori, ova srednja vrijednost je iznad one koja je izmjerena u Bukovici, Mojkovcu i Durmitorskoj tektonskoj jedinici.

Generalno, Plavi Horizonti (područje Tivta, gdje su i u ranijim istraživanjima, na lokaciji Krašići, izmjerene najveće koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida –  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  [16]), dvije lokacije u Nikšiću i jedna u Podgorici, pokazuju najveće koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u zemljištu, a tim i gustine fluksa radona iz tla.

Gustina fluksa radona iz tla, na površini suvog zemljišta na svih 56 lokacija u Crnoj Gori, bila je u opsegu (0,0046-0,0772) Bq/(m<sup>2</sup>s), sa srednjom vrijednošću 0,0132 Bq/(m<sup>2</sup>s), standardnom devijacijom 0,0114 Bq/(m<sup>2</sup>s) i medijanom 0,0095 Bq/(m<sup>2</sup>s). Dobijena srednja vrijednost (0,013 Bq/(m<sup>2</sup>s)) ne odstupa značajno od srednje vrijednosti koja je procijenjena za svijet (0,016 Bq/(m<sup>2</sup>s) [1]). Istovremeno, ona je značajno manja od vrijednosti koja se, kao reprezentativna, navodi u izvještaju UNSCEAR 2000 (0,033 Bq/(m<sup>2</sup>s) [1]).

Srednja gustina fluksa radona iz tla na teritoriji Crne Gore, na primjer, približno je ista kao srednja vrijednost izmjerena na 16 lokacija na teritoriji Ravne u Sloveniji (0,012 Bq/(m<sup>2</sup>s)), gdje je opseg izmjerenih vrijednosti bio od 0,0011 Bq/(m<sup>2</sup>s) do 0,0419 Bq/(m<sup>2</sup>s) [17].

Tabela 2. Koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u zemljištu iz različitih istraživanja

	MIN [Bq/kg]	MAX [Bq/kg]	SV [Bq/kg]	SD [Bq/kg]	MED [Bq/kg]	Referenca
Južna Evropa	1	250	35,5	/	/	[1]
Svijet (medijana)	17	60	35	/	/	[1]
Bukovik	40,8	43,4	41,9	/	/	[18]
Bukovica	21,3	32,9	25,3	/	/	[18]
JJ <sup>1</sup>	/	/	182	/	/	[19]
VK <sup>2</sup>	/	239	111	/	/	[19]
DTJ <sup>3</sup>	/	44,3	34,9	/	/	[19]
Mojkovac	20,5	38,3	28,6	4,3	28,6	[10]
Nikšić	26,3	136,8	60,2	39,5	48,6	[11]
Crna Gora (24 lokacije)	11	216	39,9	43,7	27	[12]
Crna Gora (56 lokacija)	11	216	41,3	34,5	30	Ovaj rad

MIN – minimalna izmjerena vrijednost, MAX – maksimalna izmjerena vrijednost, SV – srednja vrijednost, tj. aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, MED – medijana, <sup>1</sup> – Jadransko-jonska zona, <sup>2</sup> – Visoki krš, <sup>3</sup> – Durmitorska tektonska jedinica

#### 4. ZAKLJUČAK

Procjene gustine fluksa radona na površini suvog zemljišta u Crnoj Gori, urađene za ukupno 56 lokacija u svim regionima (primorskom, centralnom i sjevernom), pokazale su dobru saglasnost sa procjenama srednjeg fluksa na globalnom nivou. U budućim istraživanjima potrebno je izvršiti i njegova direktna mjerenja – na istim i dodatnim lokacijama, kao i mjerenja koncentracija radona u zemljištu, čime bi se upotpunila „radonska slika“ Crne Gore. Direktna mjerenja su neophodna zato što fluks radona iz tla predstavlja osnovnu veličinu kojom se karakterizuje tlo kao izvor radona, a njegova vrijednost ne zavisi samo od koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ , već i od svojstava tla, odnosno zemljišta, kao što su poroznost, permeabilnost, vlažnost, itd.

#### 5. LITERATURA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Annex B: Exposures from natural radiation sources, United Nations, New York, 2000.
- [2] United Nations Scientific Committee on the effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes, Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. United Nations, New York, 2010.
- [3] International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Man-made Mineral Fibres and Radon. Vol. 43, 1988.

- [4] International Agency for Research on Cancer (IARC). Radiation – IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 100 D, 2012.
- [5] N. Antovic, P. Vukotic, R. Zekic, R. Svrkota, R. Ilic. Indoor radon concentrations in urban settlements on the Montenegrin Coast. *Rad. Meas.*, 42 (9), 2007, 1573-1579.
- [6] P. Vukotic, N. Antovic, R. Zekic, R. Svrkota, I. Kobal, D. Rudman, R. Ilic. Indoor radon concentrations in the capital of Montenegro. *Bulletin of Montenegrin Academy of Science and Art*, 17, 2007, 85-95.
- [7] Perko Vukotic, Nevenka Antovic, Ranko Zekic, Ranko Svrkota, Radomir Ilic. Indoor Radon Concentrations in Four Municipalities of the Central Part of Montenegro. *J. Res. Phys.*, 32 (1), 2007, 1-15.
- [8] N. Antovic, P. Vukotic, R. Zekic, R. Ilic. Indoor radon concentrations in the town of Niksic, Montenegro. *Radiat. Protect. Dosim.*, 124 (4), 2007, 385-391.
- [9] P. Vukotich, V. V. Uvarov, N. Antovich, S. Dapchevich. Radon concentrations in soil of the city of Podgorica, Montenegro. *Geofis. Internac.*, 41 (3), 2002, 277-280.
- [10] Nevenka M. Antović, Danilo S. Bošković, Nikola R. Svrkota and Ivanka M. Antović. Radioactivity in soil from Mojkovac, Montenegro, and assessment of radiological and cancer risk. *Nucl. Technol. Radiat. Prot.*, 27 (1), 2012, 57-63.
- [11] Antović N. M., Svrkota N., Antović I., Svrkota R., Žižić R., Živković D. Radioactivity impact assessment of Nikšić region in Montenegro. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 302 (2), 2014, 831-836.
- [12] N. M. Antovic, N. Svrkota and I. Antovic. Radiological impacts of natural radioactivity from soil in Montenegro. *Radiat. Protect. Dosim.*, 148 (3), 2012, 310-317.
- [13] HASL-300. *EML Procedures Manual*. Environmental Measurements Laboratory, U.S. Department of Energy, 28 Edition, 1997.
- [14] Measurement of radionuclides in food and the environment (a guidebook), *Technical report*, Series No. 295, IAEA, Vienna, 1989.
- [15] Gamma-vision 32. Gamma-ray spectrum analysis NCA emulator for Microsoft, ORTEC, 2003.
- [16] P. Vukotić, N. Antović, S. Dapčević, G. I. Borisov, V. V. Kuzmič, V. M. Kulakov, M. Mirković, M. Pajović, R. Svrkota, B. Fušić, G. Duretic, A. Dlačač. Background gamma-radiation in Montenegro. *Proc. IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe, Prague, Czech Republic*, 1997, 477-479.
- [17] J. Vaupotič, A. Gregorič, I. Kobal, P. Žvab, K. Kozak, J. Mazur, E. Kochowska, D. Grzadzie. Radon concentration in soil gas and radon exhalation rate at the Raven Fault in NW Slovenia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2010, 895–899.
- [18] Perko Vukotić, Ranko Svrkota, Tomislav Anđelić, Nikola Svrkota, Bukovik i Bukovica – lokalnosti sa najvećim fonom terestrijalnog zračenja u Crnoj Gori. Rad u štampi u *Glasniku odjeljenja prirodnih nauka, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti*.
- [19] Perko Vukotić, Ranko Svrkota, Tomislav Anđelić, Ranko Zekić, Nevenka Antović. Lokalnosti u Crnoj Gori sa povećanim fonom zračenja. *Glasnik odjeljenja prirodnih nauka, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti*. 20, 2014, 13-40.

---

## ESTIMATING THE RADON FLUX DENSITY FROM SOIL AT THE TERRITORY OF MONTENEGRO

**Nikola SVRKOTA<sup>1</sup> and Nevenka M. ANTOVIĆ<sup>2</sup>**

1) Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica, Montenegro,  
nikola.svrkota@ceti.co.me

2) Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica,  
Montenegro, nenea@rc.pmf.ac.me

### **ABSTRACT**

*The flux density of  $^{222}\text{Rn}$  at the surface of dry soil was estimated using the  $^{226}\text{Ra}$  activity concentrations in soils of Montenegro. Based on previously published data and new measurements, 56 locations have been analyzed, covering all the regions (South, Center and North). Measuring points were all over Montenegro, i.e., in all Montenegro's towns, with additional sampling in Podgorica (13 measuring points, in total), Nikšić (12 measuring points) and Mojkovac (13 measuring points). For 56 locations, activity concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in soil was found to be in the range (11-216) Bq/kg, with an average of 41.3 Bq/kg. The range of estimated radon flux density at the surface of dry soil is (0.005-0.077) Bq/(m<sup>2</sup>s), with an average value of 0.013 Bq/(m<sup>2</sup>s). This average of the radon flux density from the soil surface does not deviate significantly from the estimated mean worldwide flux – 0.016 Bq/(m<sup>2</sup>s), according to the UNSCEAR 2000 report. An analysis of the results for Podgorica, Nikšić and Mojkovac, showed that the radon flux density from soil is the highest in Nikšić (0.018 Bq/(m<sup>2</sup>s) in average).*