

**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.

## ISTRAŽIVANJE RADONA U STANOVIMA U CRNOJ GORI

**Perko VUKOTIĆ<sup>1</sup>, Nevenka ANTOVIĆ<sup>2</sup>, Ranko ZEKIĆ<sup>3</sup>, Nikola SVRKOTA<sup>3</sup>,  
Tomislav ANDELIĆ<sup>3</sup>, Ranko SVRKOTA<sup>4</sup>, Radivoje MRDAK<sup>5</sup>, Andrija  
ĐUROVIĆ<sup>6</sup>, Aleksandar DLABAČ<sup>7</sup>, Nataša BJELICA<sup>8</sup>, Tamara ĐUROVIĆ<sup>8</sup>,  
Marija BOGIĆEVIĆ<sup>9</sup>**

- 1) Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, Crna Gora,  
[pvukotic@canu.ac.me](mailto:pvukotic@canu.ac.me)
- 2) Univerzitet Crne Gore, Prirodno-matematički fakultet, Podgorica
  - 3) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica
  - 4) Republički zavod za geološka istraživanja, Podgorica
  - 5) Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica
    - 6) Societe Generale Montenegro, Podgorica
- 7) Univerzitet Crne Gore, Centar za nuklearnu kompetenciju, Podgorica
  - 8) Ministarstvo održivog razvoja i turizma, Podgorica
  - 9) Osnovna škola „Dr Dragiša Ivanović“, Podgorica

### SADRŽAJ

Sistematsko istraživanje radona u stalno nastanjenim stanovima u Crnoj Gori završeno je krajem 2016. godine. Mjerenja radona su rađena detektorima tragova CR-39, u trajanju dva puta po 6 mjeseci. Dobijeno je da je srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u stanovima u Crnoj Gori  $110 \text{ Bq/m}^3$ , a medijana  $52 \text{ Bq/m}^3$ . Prosječne godišnje koncentracije aktivnosti radona u stanovima po opštinama kreću se od  $40 \text{ Bq/m}^3$  (Budva) do  $201 \text{ Bq/m}^3$  (Nikšić). U kvadratima mreže  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ , koja prekriva teritoriju države, prosječne godišnje koncentracije aktivnosti radona u stanovima su u opsegu od  $30 \text{ Bq/m}^3$  do  $732 \text{ Bq/m}^3$ . Srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u stanovima urbanih područja ( $86 \text{ Bq/m}^3$ ) znatno je manja od one u stanovima ruralnih područja ( $144 \text{ Bq/m}^3$ ). Takođe, srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u kolektivnim stambenim zgradama ( $51 \text{ Bq/m}^3$ ) više nego dvostruko je manja od one u individualnim porodičnim kućama ( $119 \text{ Bq/m}^3$ ).

### 1. UVOD

Priprema prvog sistematskog nacionalnog istraživanja radona u stanovima započeta je u Crnoj Gori 2000. godine i mjerenja radona su sprovedena 2002/2003. godine u stanovima na polovini njene teritorije [1, 2]. Istraživanje, koje je tada moralo biti prekinuto zbog nedostatka finansijskih sredstava, nastavljeno je 2014. godine, sa početkom realizacije projekta „Mapiranje radona u Crnoj Gori i unapređenje nacionalnog sistema zaštite od radona“, a završeno je krajem 2016. godine.

Prema popisu iz 2011. godine [3], Crna Gora ima 620 029 stanovnika, a broj stalno nastanjenih stanova je 247 000, od kojih je oko 50% u prizemlju. Kao tipovi stambenih zgrada preovlađuju kolektivne stambene zgrade i porodične kuće. Oba ova tipa zgrada izgrađena su od betona i opeke, a bez centralnog su sistema za grijanje i ventilaciju.

Ukupna kopnena površina Crne Gore je  $13\,812 \text{ km}^2$  i administrativno je podijeljena u 23 opštine.

## 2. MATERIJAL I METODE

Za izbor lokacija u sistematskom istraživanju radona u Crnoj Gori korišćena je kombinacija geografskog i populacionog pristupa, tj. dva tipa mreža: mreža sa 552 kvadrata dimenzija 5 km x 5 km, koja prekriva cjelokupnu teritoriju države, i lokalne mreže kvadrata dimenzija 0,5 km x 0,5 km, koje prekrivaju teritorije glavnih gradova opština u Crnoj Gori. U svakom kvadratu ovih mreža biran je za mjerenje radona jedan stan u prizemlju ili na prvom spratu, u zgradi koja je po konstruktivnim karakteristikama reprezentativna za područje datog kvadrata mreže.

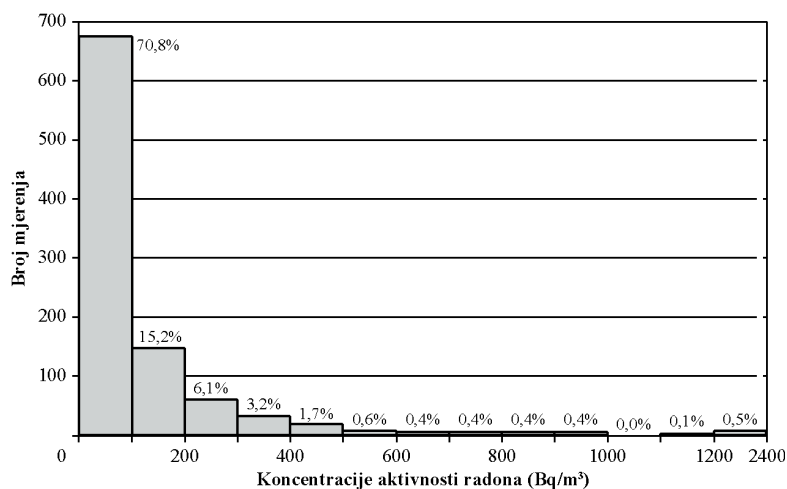
Pasivni dozimetri sa CR-39 detektorima tragova korišćeni su u obje faze mjerenja radona: 2002/2003. godine u primorskom i centralnom području Crne Gore i 2014/2015. godine u sjevernom njenom području i na lokacijama gdje su detektori bili izgubljeni pri mjerenjima u prvoj fazi. U obje faze korišćeni su „osnovni“ i „kontrolni“ dozimetri, naručeni iz inostranstva od dvije međusobno nezavisne akreditovane laboratorije.

Radon je mjereno u dnevnoj ili spavaćoj sobi tokom dva konsektivna šestomjesečna perioda: „ljetnjem“ (april – septembar) i „zimskom“ (oktobar – mart). U cilju kontrole kvaliteta mjerenja (reproducibilnosti i tačnosti), približno na svakoj desetoj lokaciji uparena su dva osnovna dozimetra, a takođe na svakoj desetoj lokaciji (ali ne onoj gdje su upareni osnovni dozimetri) upareni su osnovni i kontrolni dozimetar. Rezultati uparenih detektora pokazali su dobru saglasnost – tipično unutar 10% u prvoj fazi i 5% u drugoj fazi mjerenja radona.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Nedostajuće šestomjesečne koncentracije radona u nekim uzorkovanim stanovima, zbog gubitka dozimetara ili oštećenja detektora, izračunate su primjenom korelacionih koeficijenata između ljetnjih i zimskih koncentracija aktivnosti radona, određenih posebno za svaku od tri klimatske zone u Crnoj Gori, što je omogućilo da se i u tim slučajevima dobiju srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona.

Na taj način su dobijeni validni rezultati za srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona u ukupno 953 stana u Crnoj Gori, uzorkovana po navedenoj metodologiji u nacionalnoj i lokalnim mrežama. Njihov histogram dat je na slici 1, a osnovni parametri koji karakterišu ovaj set podataka prikazani su u tabeli 1.



Slika 1. Histogram koncentracija aktivnosti radona u 953 stana u Crnoj Gori

Koncentracije radona u stanovima urbanih (U) i ruralnih (R) područja Crne Gore značajno se razlikuju, kao što pokazuje tabela 2. One su u prosjeku znatno veće u ruralnim nego u urbanim područjima, sa oko 60% većim vrijednostima aritmetičke sredine (AS), medijane (MED) i geometrijske sredine (GS). U ruralnim područjima je nađeno 11,1% stanova sa srednjim godišnjim koncentracijama aktivnosti radona iznad 300 Bq/m<sup>3</sup> i 1,2% iznad 1000 Bq/m<sup>3</sup>, dok je takvih u urbanim područjima 5,5%, odnosno 0,1%, respektivno.

**Tabela 1. Karakteristike rezultata mjerenja srednjih godišnjih koncentracija aktivnosti radona u stanovima u Crnoj Gori**

Broj uzork. stanova	AS (Bq/m <sup>3</sup> )	MED (Bq/m <sup>3</sup> )	C <sub>Rn,max</sub> (Bq/m <sup>3</sup> )	GS (Bq/m <sup>3</sup> )
953	110	52	2320	58,3

**Tabela 2. Karakteristike koncentracija radona u stanovima urbanih i ruralnih područja**

Područje	Broj uzork. stanova	AS (Bq/m <sup>3</sup> )	MED (Bq/m <sup>3</sup> )	C <sub>Rn,max</sub> (Bq/m <sup>3</sup> )	GS (Bq/m <sup>3</sup> )
U	547	86	42	1267	48,0
R	406	144	68	2321	75,8

Karakteristike srednjih godišnjih koncentracija radona u stanovima individualnih stambenih zgrada (ISZ) i u stanovima u kolektivnim stambenim zgradama (KSZ) prikazane su u tabeli 3. Iz nje se jasno vidi da su sve karakteristične veličine rezultata dobijenih mjerenjima radona (AS, medijana, maksimalna izmjerena koncentracija i GS) više nego dvostruko veće kod stanova u porodičnim kućama nego kod stanova u kolektivnim stambenim zgradama.

**Tabela 3. Karakteristike koncentracija radona u stanovima prema osnovnim tipovima zgrada**

Tip zgrade	Broj uzork. stanova	AS (Bq/m <sup>3</sup> )	MED (Bq/m <sup>3</sup> )	C <sub>Rn,max</sub> (Bq/m <sup>3</sup> )	GS (Bq/m <sup>3</sup> )
ISZ	842	119	58	2321	64,2
KSZ	111	51	24	680	28,7

Iz eksperimentalnih rezultata za srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona u 953 uzorkovana stana u nacionalnoj i lokalnim mrežama je statističkim postupkom [4] dobijena transformisana njihova lognormalna raspodjela, na osnovu koje je urađena statistička procjena procenta stanova, u odnosu na nacionalni stambeni fond, u kojima su koncentracije aktivnosti radona iznad nekog datog nivoa (na primjer 7,4% iznad 300 Bq/m<sup>3</sup> i 0,8% iznad 1000 Bq/m<sup>3</sup>).

Po istoj metodologiji, a u cilju realizacije nekoliko posebnih istraživačkih ciljeva kao i povećanja broja uzorkovanih stanova u pojedinim opštinama, radon je izmjeren

2014/2015. godine u još 142 stana, tako da je ukupan broj stanova u kojima su određene srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona 1095.

Na osnovu rezultata mjerenja radona u 1095 stanova, određene su srednje godišnje koncentracije aktivnosti radona i medijane u stanovima za svaku od 23 opštine u Crnoj Gori, koje su prikazane u tabeli 4. Vrijednost srednje godišnje koncentracije radona je najniža u opštini Budva ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ), u primorskom području Crne Gore, a najveća je u opštini Nikšić ( $201 \text{ Bq/m}^3$ ), u centralnom području Crne Gore, koju karakterišu karstni tereni i boksitna ležišta. Medijana je najniža u primorskoj opštini Herceg Novi ( $22 \text{ Bq/m}^3$ ), a najviša u opštinama Šavnik ( $95 \text{ Bq/m}^3$ ) i Mojkovac ( $94 \text{ Bq/m}^3$ ), u sjevernom području Crne Gore.

**Tabela 4. Srednje koncentracije aktivnosti radona u stanovima i medijane po opštinama**

Opština	Broj uzork. stanova	AS ( $\text{Bq/m}^3$ )	MED ( $\text{Bq/m}^3$ )
Andrijevića	17	78	47
Bar	63	57	33
Berane	61	96	70
Bijelo Polje	56	97	66
Budva	41	40	32
Cetinje	56	110	85
Danilovgrad	19	141	87
Gusinje	11	130	29
Herceg Novi	46	71	22
Kolašin	38	104	65
Kotor	52	84	44
Mojkovac	23	156	94
Nikšić	169	201	78
Petnjica	11	186	68
Plav	19	93	54
Pljevlja	90	64	42
Plužine	29	127	88
Podgorica	180	89	42
Rožaje	22	63	42
Šavnik	19	137	95
Tivat	17	131	37
Ulcinj	35	56	30
Žabljak	21	76	30

Na osnovu rezultata mjerenja radona u 1095 stanova određene su i srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti radona u stanovima u svakom od 131 kvadrata mreže  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ , koja pokriva teritoriju Crne Gore. Najmanja od njih je u kvadratu koji je na krajnjem jugu primorske opštine Ulcinj, i iznosi  $30 \text{ Bq/m}^3$ , a najveća je u kvadratu koji je u jugozapadnom dijelu opštine Nikšić, i iznosi  $732 \text{ Bq/m}^3$ .

#### 4. ZAKLJUČCI

Krajem 2016. godine dovršeno je prvo sistematsko istraživanje radona u stalno nastanjenim stanovima u Crnoj Gori, sa odnosom uzorkovanih stanova prema ukupnom stambenom fondu 1:225.

Srednja godišnja koncentracija aktivnosti radona u stanovima u Crnoj Gori je  $110 \text{ Bq/m}^3$ , a medijana  $52 \text{ Bq/m}^3$ .

Srednja godišnja koncentracija radona u stanovima ruralnog područja je 1,7 puta veća od one u stanovima urbanog područja, a u stanovima porodičnih kuća je 2,3 puta veća od one u stanovima kolektivnih stambenih zgrada.

Najmanja prosječna *indoor* koncentracija aktivnosti radona je u opštini Budva ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ), na Crnogorskom primorju, a najveća u opštini Nikšić ( $201 \text{ Bq/m}^3$ ), koju karakterišu karstno područje i ležišta boksita.

Prosječne *indoor* koncentracije aktivnosti radona po kvadratima  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  mreže koja prekriva teritoriju Crne Gore kreću se od  $30 \text{ Bq/m}^3$  (u opštini Ulcinj) do  $732 \text{ Bq/m}^3$  (u karstnom dijelu opštine Nikšić).

#### 5. ZAHVALNICA

Rad je urađen na osnovu rezultata istraživačkih projekata koje su finansirali Vlada Crne Gore i Međunarodna agencija za atomsku energiju. Autori su im zahvalni što su omogućili realizaciju ovih istraživanja radona.

#### 6. LITERATURA

- [1] 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.
- [2] P. Vukotic, N. Antovic, R. Zekic, R. Svrkota, R. Ilic. Indoor radon concentrations in four municipalities of the central part of Montenegro. *J. Res. Phys.* 32/1, 2007, 1–15.
- [3] Statistički godišnjak 2011. Monstat, Crna Gora, Zavod za statistiku, Podgorica 2011.  
[http://www.monstat.org/userfiles/file/publikacije/godisnjak%202011/GODISNJA K%200%202011-%20new.pdf](http://www.monstat.org/userfiles/file/publikacije/godisnjak%202011/GODISNJA%20K%200%202011-%20new.pdf).
- [4] P. Vukotić, N. Antović, A. Đurović, R. Zekić, N. Svrkota, T. Anđelić, R. Svrkota, R. Mrdak, N. Bjelica, T. Đurović, A. Dlabač, M. Bogičević. Procjena procenta stanova u Crnoj Gori sa koncentracijama radona iznad datog nivoa. Zbornik radova 11. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 5–7. travnja 2017, Osijek, 356–361.



## RADON INDOOR SURVEY IN MONTENEGRO

**Perko VUKOTIĆ<sup>1</sup>, Nevenka ANTOVIĆ<sup>2</sup>, Ranko ZEKIĆ<sup>3</sup>, Nikola SVRKOTA<sup>3</sup>,  
Tomislav ANĐELIĆ<sup>3</sup>, Ranko SVRKOTA<sup>4</sup>, Radivoje MRDAK<sup>5</sup>, Andrija  
ĐUROVIĆ<sup>6</sup>, Aleksandar DLABAČ<sup>7</sup>, Nataša BJELICA<sup>8</sup>, Tamara ĐUROVIĆ<sup>8</sup>,  
Marija BOGIĆEVIĆ<sup>9</sup>**

- 1) *Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Podgorica, Crna Gora, [pvukotic@canu.ac.me](mailto:pvukotic@canu.ac.me)*
- 2) *University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica*
- 3) *Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica*
- 4) *Geological Survey, Podgorica*
- 5) *University of Montenegro, Faculty of Civil Engineering, Podgorica*
- 6) *Societe Generale Montenegro, Podgorica*
- 7) *University of Montenegro, Centre for Nuclear Competence, Podgorica*
- 8) *Ministry of Sustainable Development and Tourism, Podgorica*
- 9) *Primary School "Dr. Dragiša Ivanovic", Podgorica*

### **ABSTRACT**

*First systematic national radon survey in 1095 dwellings in Montenegro was finished by the end of year 2016. Radon was measured with CR-39 nuclear track detectors during two consecutive six-month periods. It is obtained that the national average radon activity concentration in indoor air of homes in Montenegro is 110 Bq/m<sup>3</sup> and median is 52 Bq/m<sup>3</sup>. The average indoor radon concentrations in the municipalities are in range from 40 Bq/m<sup>3</sup> (Budva municipality) to 201 Bq/m<sup>3</sup> (Niksic municipality). The average radon concentrations are also calculated for each of 131 squares of the 10 km × 10 km grid which covers territory of Montenegro, and they are in a range from 30 Bq/m<sup>3</sup> to 732 Bq/m<sup>3</sup>. In rural areas, the average indoor radon concentration (144 Bq/m<sup>3</sup>) is much higher than the corresponding one in urban areas (86 Bq/m<sup>3</sup>). Also, the average radon activity concentration in the single-family detached houses (119 Bq/m<sup>3</sup>) are more than twice higher than in dwellings of the large apartment buildings (51 Bq/m<sup>3</sup>).*