



ЗБОРНИК РАДОВА



XXXII Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

**04-06. октобар 2023. године
Будва, Црна Гора**

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



ЗБОРНИК РАДОВА

XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

**Будва, Црна Гора
04-06. октобар 2023. године**

**Београд
2023. године**

**RADIATION PROTECTION ASSOCIATION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

XXXII SYMPOSIUM RPASM

**Budva, Montenegro
4th-6th October 2023**

Belgrade

2023

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

04-06.10.2023.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Милица Рајачић
Др Ивана Вуканац

ISBN 978-86-7306-169-6

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милош Ђалетић, Милица Рајачић

Електронско издање:

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

Година издања:

Октобар 2023.



Овај Зборник као и сви радови у њему подлежу лиценци:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ова лиценца дозвољава само преузимање и дистрибуцију дела, ако/док се правилно назначавача име аутора, без икаквих промена дела и без права комерцијалног коришћења дела.

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

Организатори:

ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

Институт за нуклеарне науке „Винча“

Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

Организациони одбор:

Председник:

Ивана Вуканац

Чланови:

Милица Рајачић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Милатовић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Никола Свркота, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Ранко Зекић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Гордана Пантелић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Милош Ђалетић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Никола Кржановић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Наташа Сарап, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Станковић Петровић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Ивана Коматина, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Влаховић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Зорица Обрадовић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Самолов, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

Научни одбор:

др Владимир Удовичић, Институт за физику, Земун, Универзитет у Београду

др Војислав Станић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Душан Мрђа, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Ивана Вуканац, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Пајић, Институт за медицину рада Србије "Др Драгомир Карајовић",
Београд

др Јелица Грујић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у Београду

др Јована Николов, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Маја Еремић-Савковић, Директорат за радијациону и нуклеарну сигурност и
безбедност Србије

др Марија Јанковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Мирјана Ђурашевић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

др Мирјана Раденковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

др Невена Здјеларевић, ЈП Нуклеарни објекти Србије, Београд

др Оливера Митровић Ајтић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у
Београду

др Софија Форкапић, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Србољуб Станковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

Организацију су помогли:

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења
и заштиту животне средине „Заштита“

Мике Петровића Аласа 12-14

11351 Винча, Београд, Србија

<https://www.vin.bg.ac.rs/>

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

Булевар Шарла де Гола бр. 2

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mne.ceti.me/>

МОЈ ЛАБ

ул. Московска бр. 2б

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mojlab.me/>

ФАРМАЛАБ

Булевар Михаила Лалића бр. 8

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://farmalab.me/>

ГЛОСАРИЈ ДОО

ул. Војисављевића бр. 76

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://www.glosarij.me/me/pocetna>

Излагачи:

Canberra Packard Central Europe GmbH.

Wienersiedlung 6

2432 SCHWADORF, Austria

Phone: +43 (0)2230 3700-0

Fax: +43 (0)2230 3700-15

Web: <http://www.cpce.net/>

LKB Vertriebs doo Beograd-Palilula

Cvijičeva 115

11120 Beograd, Srbija

Tel: +381 (0)11 676 6711

Faks: +381 (0)11 675 9419

Web: www.lkb.eu

Овај Зборник је збирка радова саопштених на XXXII Симпозијуму Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе који је одржан у Будви, Црна Гора, 04-06.10.2023. године. Радови су према обрађеној проблематици груписани у једанаест секција. Сви радови у Зборнику су рецензирани од стране Научног одбора, а за све приказане резултате и тврдње одговорни су сами аутори.

*Југословенско друштво за заштиту од зрачења основано је 1963. године у Порторожу, а од 2005. носи име "Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе". На XXXII Симпозијуму, ове године обележавамо веома значајан јубилеј - **60 година организоване заштите од зрачења на нашим просторима.***

Од оснивања, Симпозијуми Друштва за заштиту од зрачења представљају прилику да се кроз стручни програм прикажу резултати истраживања у области заштите од зрачења, представе различите области примене извора и генератора зрачења, анализирају актуелна дешавања, размене искуства са колегама из региона, дефинишу проблеми и правци даљег унапређивања наше професионалне заједнице.

Поред тога, Симпозијуми друштва представљају и прилику да у мање формалном маниру сретнемо старе и упознамо нове пријатеље и колеге, обновимо старе и започнемо нове професионалне сарадње.

Ауторима и коауторима научних и стручних радова саопштених на XXXII Симпозијуму се захваљујемо на уложеном труду и настојању да квалитетним радовима заједно допринесемо остваривању циљева и задатака Друштва и наставимо традицију дугу импозантних 60 година.

Посебно се захваљујемо свима који су подржали одржавање овог Симпозијума.

Свим члановима Друштва, сарадницима и колегама честитамо овај значајан јубилеј!

Организациони одбор XXXII Симпозијума ДЗЗСЦГ

MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENOM PROSTORU – PRIKAZ JEDNOG SLUČAJA

Vesna ARSIĆ¹, Igor ČELIKOVIĆ², Irena TANASKOVIĆ¹, Suzana BOGOJEVIĆ¹,
Jovana ILIĆ¹

- 1) *Institut za medicinu rada Srbije “Dr Dragomir Karajović”, Deligradska 29, Beograd*
- 2) *Institut za nuklearne nauke “Vinča”, Institut od nacionalnog interesa za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd*

Autor za korespondenciju: Vesna ARSIĆ, vesna.arsic@institutkarajovic.rs

SAŽETAK

Laboratorija za merenje radioaktivnosti Instituta za medicinu rada Srbije “Dr Dragomir Karajović” je prvobitnim merenjem koncentracije radona pomoću kanistera sa aktivnim ugljem, u privatnoj kući na Bežanijskoj Kosi u Beogradu, ustanovila povišenu koncentraciju u novom delu kuće. U cilju utvrđivanja razloga povišene koncentracije radona, nova merenja su organizovana u još tri navrata (etape), u različitim periodima, pokrivajući sva četiri godišnja doba. Rad predstavlja prikaz ovog slučaja u kom je pored pomenute laboratorije učestvovala i Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku Instituta “Vinča” uz kombinovanje većeg broja metoda: merenje koncentracije radona pomoću kanistera sa aktivnim ugljem, pomoću aktivnog uređaja – alfaspektrometra, određivanje koncentracije radona na osnovu ekshalacije radona iz poda prostorije i građevinskog materijala, na osnovu merenja koncentracije radona u zemljištu, na osnovu gamaspektrometrijske analize zemljišta uzorkovanog iz dvorišta ispred kuće. Analizom dobijenih rezultata potvrđena su dosadašnja saznanja o dnevnim i sezonskim varijacijama koncentracije radona.

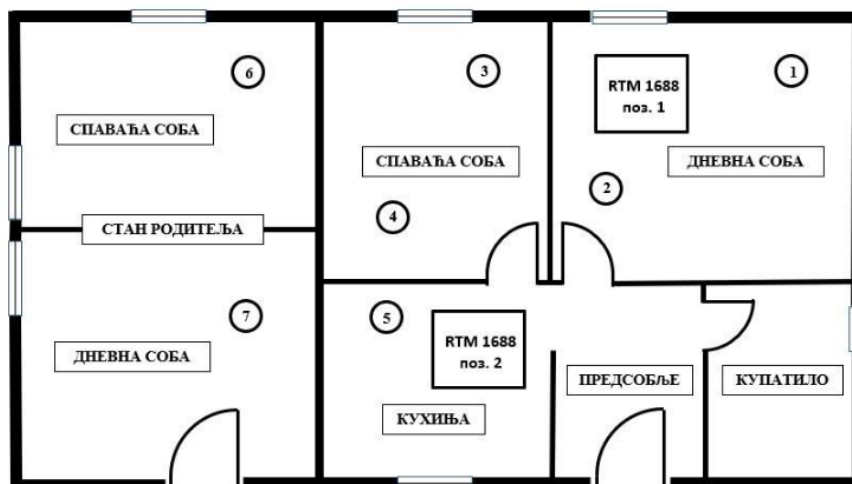
Uvod

Ovaj rad obrađuje merenja koncentracije radona u porodičnoj kući na Bežanijskoj Kosi, sprovedenih sa ciljem da se ustanove razlozi prvobitno otkrivenih povišenih vrednosti. Merenja su izvršena saradnjom dve laboratorije: Laboratorije za nuklearnu i plazma fiziku Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ (u daljem tekstu Laboratorija NPF) i Laboratorije za ispitivanje radioaktivnosti (Odeljenje za radioekologiju), Instituta za medicinu rada „Dr Dragomir Karajović“ (u daljem tekstu Laboratorija RE). Ispitivanja su obavljena u četiri etape. U prvoj i drugoj etapi, merenja je izvršila Laboratorija RE, samostalno. U trećoj i četvrtoj etapi, merenja su izvršena saradnjom pomenute dve laboratorije. Ukupni period u kome su vršena merenja trajao je od 17.12.2021. do 02.11.2022.

Etape 1 i 2

Prvo merenje je izvršeno na zahtev vlasnika kuće M:J., 17.12.2021. Deo kuće u kome žive roditelji M.J., sagrađen je 1968. godine, a 2018. godine dozidan je novi deo kuće (skica donjeg sprata prikazana je na Slici 1). Kuća je jednospratna, bez podruma, zidana od standardnog građevinskog materijala (cigla, cigla-blok, šljaka-blok, beton, malter), sa izolacijom. Kuća je izmalterisana i zidovi su okrečeni. Pod je prekriven pločicama, parketom i laminatom. Sobe imaju PVC prozore dimenzija (2,0 X 1,5) m. Grejanje je električno. Koncentracija radona merena je pomoću kanistera sa aktivnim ugljem isključivo u prizemnim prostorijama. Za prvo merenje, izbrani su uslovi maksimalnog opterećenja, tj. sa vlasnikom je dogovoreno izlaganje ugljenih kanistera u sobama zatvorenih prozora i vrata, bez dodatne ventilacije i uz slabu upotrebu prostorija. Korisnik je postavio kanistere u 4 prostorije i nakon zatvaranja, dopremio ih je u Laboratoriju RE radi očitavanja. Pregled svih izvršenih merenja

sa rasporedom postavljanja dat je u Tabeli 1. Rezultati su pokazali povišene vrednosti u novom delu kuće (Tabela 2) i to je bio razlog za organizovanje druge faze merenja. U drugoj etapi, kanisteri su izloženi u periodu od 01.01. - 04.01.2022. Ovaj put, sa korisnikom je dogovoren manje konzervativan pristup merenju - kanisteri su izloženi uz normalno korišćenje prostorija, ali bez forsirane ventilacije. Postavljena su tri kanistera u dve prostorije (2 kanistera postavljena su u dnevnoj sobi u kojoj je, pri prethodnom merenju, izmerena povišena koncentracija). Ponovljena merenja su potvrdila prethodni nalaz – povišene vrednosti u novom delu kuće (Tabela 2) i pružila su razlog za nastavak ispitivanja.



Slika 1: Skica donjeg sprata kuće sa pozicijama postavljanja detektora i uređaja RTM 1688-2

Етапа 3

Sa kolegom iz Laboratorije NPF, dogovorena je ova faza merenja, uz kombinovanje metoda za određivanje koncentracije radona. Postavljeno je šest kanistera u tri prostorije (raspored postavljanja dat je u Tabeli 1) dok su aktivnim uređajem, RPM 1668-2 (SARAD GmbH, Nemačka) izvršena merenja brzine ekshalacije radona iz poda. Kanisteri su izloženi, po dogovoru, uz normalno korišćenje prostorija. Izvršeno je i uzorkovanje zemljišta iz dvorišta i građevinskog materijala od koga je sagrađen objekat (blok šljaka). U Laboratoriji RE, u uzorku zemljišta, određen je sadržaj radionuklida, a u Laboratoriji NPF izvršeno je merenje brzine ekshalacije radona iz uzorka građevinskog materijala.

Етапа 4

U ovoj fazi merenja, izlaganje ugljenih kanistera, izvedeno je u periodu 02.11. – 04.11.2022. godine dok je merenje alfaspektrofotometrom izvedeno 02.11.2022. godine, prilikom postavljanja kanistera. U ovoj fazi, kanisteri su bili izloženi pri zatvornim pozorima i vratima uz što manju upotrebu prostorija. Postavljeno je pet kanistera u tri prostorije (raspored prikazan u Tabeli 1). Izvršena su merenja brzine ekshalacije radona iz poda u dve prostorije novog dela kuće: dnevnoj sobi - instrument je postavljen na poziciju koja je označena kvadratom 1, na Slici 1 i u kuhinji - instrument je postavljen na poziciju koja je označena kvadratom 2 na istoj slici. Merenje koncentracije radona u zemljištu izvršeno je istim uređajem - RPM 1668-2 uz dodatak neophodne opreme, u dvorištu iza kuće.

Табела 1: Pregled svih izvršenih merenja i raspored postavljanja detektora

Lab.	Vrsta ispitivanja	Lokacija	Pozicija (Slika 1)	Lab.	Vrsta ispitivanja	Lokacija	Pozicija (Slika 1)
Prva etapa merenja (17.12.-20.12.2021.)				Druga etapa merenja (01.01.-04.01.2022.)			
RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2	RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2
		Spavaća soba	3, 4			Spavaća soba	3
		Stan roditelja	6,7				
Treća etapa merenja (31.05.-02.06.2022.)				Četvrta etapa merenja (02.11.-04.11.2022.)			
RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1	RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2
		Spavaća soba	3, 4			Spavaća soba	3, 4
		Kuhinja	5			Kuhinja	5
		Stan roditelja	7				
	Uzorkovanje	Zemljiše			Brz. ekshalacije iz poda sobe	Dnevna soba	Kvadrat 1
NPF	Brz. ekshalacije iz poda sobe	Dnevna soba	Kvadrat 1	NPF	Brz. ekshalacije iz građ. materijala	Kuhinja	Kvadrat 2
		Kuhinja	Kvadrat 2			Laboratorija NPF	-
	Uzorkovanje	Građevinski materijal			Konc. Rn u zemlji	Dvorište	-

Metodologija i oprema

Za ispitivanje koncentracije radona u prostorijama kuće korišćena je **EPA metoda pomoću detektora sa aktivnim ugljem** [1]. Ugljeni filteri su, u skladu sa referentnim dokumentom [1], izlagani u zatvorenim prostorijama (48-72) h, postavljeni na 1 m visine od poda i zidova. Po završetku perioda izlaganja, kanisteri su zatvoreni a merenje je izvršeno nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između radona i njegovih kratkoživećih potomaka (posle 3 časa od zatvaranja) na NaI detektoru. Kalibracija detektora je vršena standardom Ra-226 uniformno raspoređenim u kanisteru standardizovanih dimenzija (proizvođač: EG&G Instruments, Cert.No. 236-4-1-2).

Gamaspektrometrijsko ispitivanje uzorka zemljišta vršeno je uz pomoć poluprovodničkog HPGe detektora proizvođača ORTEC, efikasnosti 40 % i rezolucije 1,85 na energiji 1,33 MeV (Co-60). Uzorak je pripremljen i meren po ISO metodi [2]. Kalibracija efikasnosti detektora izvršena je snimanjem spektra standardnog kalibracionog izvora - mešavina radionuklida Češkog metrološkog instituta (Cert.No. 931-OL-422/12) homogeno raspoređena u istoj geometriji u kojoj je meren i uzorak (Marinelli 0,5 l).

Brzina ekshalacije radona iz građevinskog materijala izvršena je metodom zatvorene komore [3]. Unutrašnjost komore je preko dva ventila povezana sa aktivnim uređajem RTM1688-2 koji je kontinualno merio koncentraciju radona u komori sa uzorkom. Građevinski materijal uzet sa terena, u vidu ploče, stavljen je u komoru, koja je hermetički zatvarona, nakon čega je u ravnomernim vremenskim intervalima meren porast koncentracije radona u komori. Nagomilavanje radona u komori usled ekshalacije radona iz građevinskog materijala, u slučaju dobro zatvorene komore, opisuje se [3], [4] jednačinom:

$$(1) \quad C_{Rn}(t) = \frac{E_{SS}}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t}) + C_0 e^{-\lambda t}$$

gde su: C_{Rn} - koncentracija radona u zatvorenom prostoru ($Bq\ m^{-3}$), E_S - brzina površinske ekshalacije radona iz građevinskog materijala ($Bq\ m^{-2}\ h^{-1}$), S - površina zidova prekrivena građevinskim materijalom (m^2), λ – konstanta radioaktivnog raspada radona, V - zapremina sistema koja obuhvata ukupnu zapreminu komore (korigovana na aktivnu zapreminu komore, zapreminu cevčica i zapreminu uzorka) (m^3), C_0 - spoljašnja koncentracija radona ($Bq\ m^{-3}$). Za kratak interval merenja, površinska brzina ekshalacije radona se dobija linearnim fitom krive nagomilavanja

Za merenja koncentracije radona u zemljištu, korišćen je, takođe uređaj RTM 1688-2, uz dodatak šuplje čelične šipke tj. sonde dužine 1,5 m, koja se čeličnim čekićem pobija u zemlju na dubinu od 1 m. Gornji kraj šipke se sa gumenim crevom povezuje sa uređajem. Uz pomoć pumpe, vazduh se isisava i ubacuje u mernu komoru detektora. Posle završenog jednog ciklusa merenja dobija se odbroj u svim kanalima detektora ponaosob.

Rezultati i diskusija

Merenje koncentracije aktivnosti radona pomoću kanistera sa aktivnim ugljem

Tabela 2 prikazuje rezultate merenja koncentracije radona ($Bq\ m^{-3}$) u prostorijama tokom prve dve etape merenja. Pokazalo se da su povišene koncentracije aktivnosti izmerene u dnevnoj sobi. Dok se u prvoj etapi merenja, razlog tome mogao tražiti u načinu izlaganja (forsirano nakupljanje radona zbog zatvorenih prozora i vrata), u drugoj etapi merenja prostorije su se koristile normalno, i veća vrednost u dnevnoj sobi nije se mogla rastumačiti. Maksimalna vrednost od $451\ Bq\ m^{-3}$ izmerena je kanisterom na polici bliže vratima (pozicija 2, Slika 1). Osim pretpostavke, da je slaba “tačka” za ulazak radona pregradni zid između novog i starog dela kuće, drugi uzročnici za povišene koncentracije nisu uočeni. Da bi se problem razrešio, kao što je rečeno, dogovoreno je ponavljanje merenja uz uključivnje aktivnog uređaja i saradnika iz NPF Laboratorije.

Tabela 2: Koncentracije aktivnosti radona ($Bq\ m^{-3}$) u prve dve etape merenja

Etapa 1*			Etapa 2**		
Lokacija	Pozicija na Slici 1	C_{Rn} ($Bq\cdot m^{-3}$)	Lokacija	Pozicija na Slici 1	C_{Rn} ($Bq\cdot m^{-3}$)
Dnevna soba	2	760 ± 10	Dnevna soba	1	374 ± 6
	1	807 ± 10		2	451 ± 7
Spavaća soba	4	250 ± 7	Spavaća soba	3	253 ± 5
	3	146 ± 5		/	/
Dnevna soba roditelja	7	95 ± 5	-	-	-
Spavalća soba roditelja	6	81 ± 5	-	-	-

* - zatvoreni prozori i vrata, ** - normalno korišćenje prostorija.

Tabela 3 prikazuje rezultate merenja koncentracije radona u trećoj i četvrtoj etapi. U trećoj etapi, uz normalno korišćenje prostorija tokom izlaganja kanistera, rezultati merenja pokazuju da se vrednosti koncentracije radona kreću unutar granica dozvoljenog. Samo je u kuhinji izmerena blago povišena vrednost ($311\ Bq\ m^{-3}$). Stan roditelja, pod istim uslovima, imao je ponovo značajno niže vrednosti. U spavaćoj sobi, na poziciji 4 (Slika 1), bliže kuhinji,

izmerena je veća vrednost, pa se iz ta dva razloga, sumnjalo da je kuhinja kritično mesto za propuštanje radona. Postavljen je uređaj RPM 1668-2 na poziciju 2 (Slika 1) u kuhinji (i na poziciju 1, u dnevnoj sobi) i merena je brzina ekshalacije radona iz poda. Ovo merenje pokazalo je niske vrednosti i nije potvrdilo iskazanu pretpostavku. Da bi se došlo do odgovora o razlozima, dogovorena je četvrta etapa merenja. Ovom prilikom (u okviru treće etape), uzorkovano je zemljište za gamaspektrometrijsku analizu i blok-šljaka od kog je dozidan novi deo kuće radi merenja brzine ekshalacije radona iz građevinskog materijala.

Tabela 3: Koncentracije aktivnosti radona ($Bq\ m^{-3}$) u trećoj i četvrtoj etapi merenja

Etapa 3**			Etapa 4*		
Lokacija	Pozicija na Slici 1	CRn ($Bq\cdot m^{-3}$)	Lokacija	Pozicija na Slici 1	CRn ($Bq\cdot m^{-3}$)
Dnevna soba	1	177 ± 7	Dnevna soba	1	934 ± 9
	2	/		2	874 ± 9
Spavaća soba	4	268 ± 7	Spavaća soba	4	760 ± 9
	3	186 ± 5		3	853 ± 10
Kuhinja	5	311 ± 8	Kuhinja	5	796 ± 9
Spavaća soba roditelja	6	72 ± 5	-	-	-
Dnevna soba roditelja	7	81 ± 5	-	-	-

* - zatvoreni prozori i vrata, ** - normalno korišćenje prostorija.

U četvrtoj etapi (Tabela 3, desna strana), rezultati izvršenih merenja pokazali su povišene koncentracije aktivnosti na svih 5 mernih mesta. Maksimalna vrednost ($934\ Bq\ m^{-3}$) izmerena je u dnevnoj sobi, bliže prozoru (pozicija 1 na Slici 1). U ovoj etapi merenje je izvršeno u uslovima maksimalnog opterećenja (zatvoreni prozori i vrata, isključena ventilacija uz minimalno korišćenje prostorija tokom izlaganja kanistera). Izmerene vrednosti se mogu smatrati ujednačenim i ne ukazuju na postojanje mesta koje bi se moglo izdvojiti kao “vruća tačka” za ulazak radona. Svi rezultati su prikazani sa kombinovanom mernom nesigurnošću uz faktor obuhvata $k = 1$.

Gamaspektrometrijsko merenje uzoraka zemljišta

Tabela 4 prikazuje rezultate gamaspektrometrijskog ispitivanja uzorka zemljišta uzetog iz dvorišta porodične kuće. Prikazane su vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida. Veštački radionuklidi nisu detektovani. Rezultati su prikazana uz kombinovanu mernu nesigurnosti za faktor obuhvata $k = 1$.

Tabela 4: Koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorku zemljišta

Ra-226 ($Bq\ kg^{-1}$)	Th-232 ($Bq\ kg^{-1}$)	K-40 ($Bq\ kg^{-1}$)	U-238 ($Bq\ kg^{-1}$)
35 ± 1	43 ± 2	516 ± 10	39 ± 8

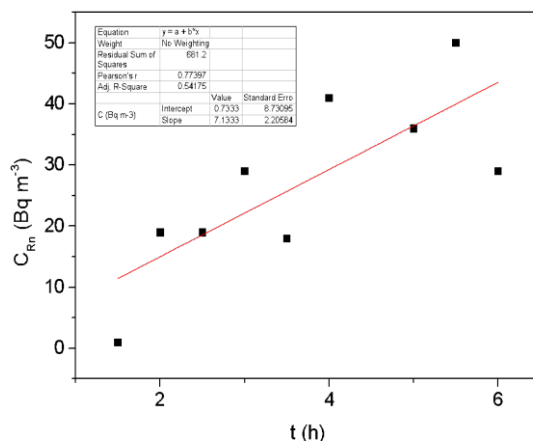
Na osnovu dobijenih rezultata, zaključuje se da nije detektovana povišena aktivnost prirodnih radionuklida (posebno, Ra-226) koja bi mogla uticati na pojačano stvaranje Rn-222.

Merenje brzine ekshalacije radona iz građevinskog materijala

Uzorak građevinskog materijala, koji je korišćen za za dogradnju kuće usitnjen je (polomljen), i komad dimenzija (13×17) cm, stavljen u akumulacionu komoru zapremine 30 l na merenje (6 h). Izmerene vrednosti fitovane su linearnom krivom i prikazani grafički (Slika 2).

Na osnovu podataka o dimenzijama prostorije (dužina sobe: 5 m, širina: 4 m i visina: 2,6 m; dimenzije prozora: (2,0 x 1,5) m), uzimajući za standardnu brzinu provetrenosti, vrednost od $0,63 \text{ h}^{-1}$ [4], [9], dobija se da je doprinos koncentracije radona od građevinskog materijala jednak:

$$(2) \quad C_{Rn} = \frac{E_S S}{V \lambda_V} = (24,6 \pm 7,6) Bq m^{-3}$$



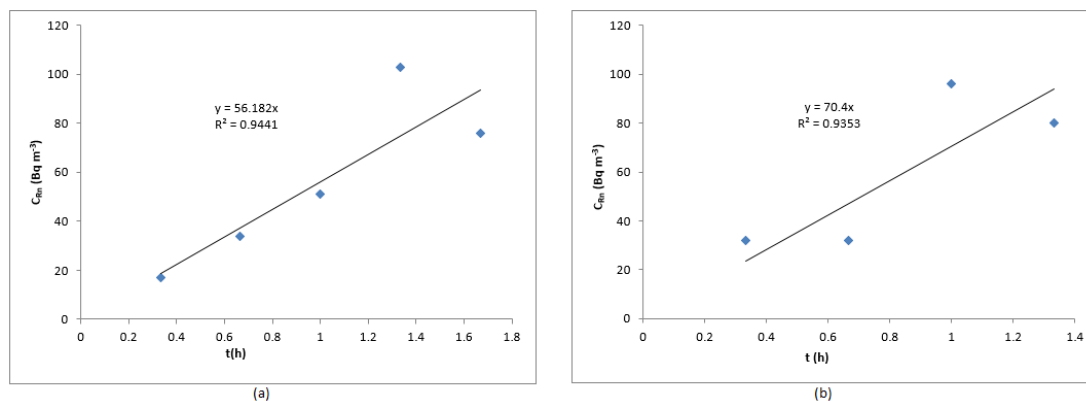
Slika 2: Kriva nagomilavanja radona u komori usled ekshalacije radona iz uzorka građevinskog materijala (blok-šljaka)

Princip koji je ovde prikazan za određivanje brzine ekshalacije radona iz građevinskog materijala, korišćen je i za određivanje brzine ekshalacije iz poda prostorije.

Merenje brzine ekshalacije radona iz poda

Merenje brzine ekshalacije iz poda vršeno je takođe RTM 1688-2 uređajem, u dve prostorije (dnevna soba i kuhinja) u dva navrata (31.05. i 02.11.2022.). Period integracije je bio podešen na 20 min i 25 min, respektivno. Ukupno vreme merenja, u oba slučaja, bilo je 2 h. Izmerene koncentracije radona u dnevnoj sobi prikazane su grafički (Slika 3).

Uzimajući u obzir podatke o dimenzijama dnevne sobe (uz uslove slabog provetravanja), doprinos koncentracije radona koji dolazi od poda dnevne sobe, dobijen je pomoću podataka sa krive nagomilavanja i iznosi: $(20,3 \pm 6,3) \text{ Bq m}^{-3}$, na osnovu prvog merenja (grafik (a) na Slici 3), i $(16,2 \pm 5,9) \text{ Bq m}^{-3}$, za drugo merenje (grafik (b) na istoj slici).

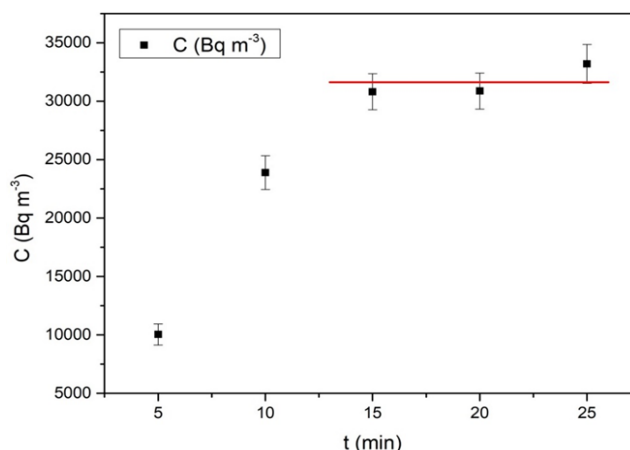


Slika 3: Kriva nagomilavanja radona u radonskoj komori usled ekshalacije radona iz poda dnevne sobe: a) 31.05.2022. i b) 02.11.2022.

Rezultate merenja u kuhinji nisu se mogli fitovati krivom zadovoljavajućeg kvaliteta pa je ona procenjena na osnovu maksimalnog nagiba krive (određen kao odnos maksimalno izmerene koncentracije radona i vremena). Na osnovu istih podataka, analogno računu za dnevnu sobu, procenjene koncentracije radona koji dolazi iz poda u kuhinji: $(199 \pm 89) \text{ Bq m}^{-3}$ pri prvom merenju i $(55 \pm 23) \text{ Bq m}^{-3}$, pri drugom.

Merenje koncentracije aktivnosti radona u zemljištu

Merenje koncentracije aktivnosti radona u samom zemljištu izvršeno je 02.11.2022. istim uređajem. Dobijeni rezultati grafički su prikazani na Slici 4.



Slika 4: Koncentracija radona u zemlji

Konačna vrednost koncentracije radona u zemlji (merena u blizini ispitivanog objekta, na 1 m dubine) dobijena je kao srednja vrednost tri poslednje vrednosti $(31600 \pm 1000) \text{ Bq m}^{-3}$.

Diskusija i zaključak

Doprinosi koji potiču od građevinskog materijala i ekshalacije radona iz poda prostorije, izračunati su i prikazani sumarno u Tabeli 5.

Tabela 5: Prikaz procene ukupnog doprinosa svih procenjenih faktora na koncentraciju radona u unutrašnjosti prostorije

Datum merenja	Prostorija u objektu	Doprinos koji potiče od poda (Bq m ⁻³)	Doprinos od građ. materijala (Bq m ⁻³)	Ukupno (Bq m ⁻³)
31.05.	Dnevna soba	16,2	24,6	40,8
	Kuhinja	199		223,6
02.11.	Dnevna soba	20,3		44,9
	Kuhinja	55		79,6

- Procene na osnovu merenja brzine ekshalacije pokazuju da je, koncentracija aktivnosti gasa radona, koji bi se mogao naći u unutrašnjem vazduhu kuće, između $(40,8 - 223,6) \text{ Bq m}^{-3}$.
- Koncentracije aktivnosti radona izmerena pomoću kanistera sa aktivnim ugljem kreću se u širokom opsegu od $(72 - 934) \text{ Bq m}^{-3}$.
- Koncentracije aktivnosti svih prirodnih radionuklida u izmerenom uzorku zemljišta su u granicama vrednosti koje su uobičajene za teritoriju Srbije.

- Концентрација активности радона у земљи измерена активним уређајем у близини објекта износила је **(31600 ± 1400) Bq m⁻³** што би у случају слабије техничке изведбе куће могло допринети повишеној концентрацији радона.

Rezultati merenja pokazuju sezonske i prostorne varijacije i međusobno neslaganje: visoke koncentracije radona dobijene merenjem adsorpcionom tehnikom i normalne vrednosti za brzinu ekshalacije iz poda, građevinskog materijala, kao i koncentracija radona u zemljištu i sadržaj radionuklida u zemljištu.

U svrhu objašnjenja ovog, na prvi pogled, neslaganja, treba uzeti u obzir sledeće napomene:

- Kuće sa slabo zaptivenim temeljima, izgrađenim na visokopropusnom tlu i sa nekoliko ulaznih tačaka za gas iz zemlje, mogu da crpe više od 10 % svog unutrašnjeg vazduha iz zemljišta [9]. Ukoliko samo 3 % od ukupne izmerene koncentracije radona u zemlji, uđe u objekat (prema [9] to može da bude i više od 10 %), dobija se vrednost od 948 Bq m⁻³ u unutrašnosti prostorija (UNSCEAR 2008). Zemljište na Bežanijskoj Kosi može spadati u ovu vrstu, koja doprinosi ulasku radona unutar prostorija u nešto većoj meri (zbog permeabilnosti, poroznosti i drugih pedoloških karakteristika koje nisu analizirane, a koje utiču na otpuštanje radona iz zemljišta).
- U analizu treba uvrstiti **i uticaj vlage na samo merenje**. U kišnom periodu, visoka vlažnost u zemljištu, otežava transport radona, pa i njegovo merenje. Zbog toga je moguće, da je vrednost koncentracije radona izmerena u zemlji, malo potcenjena jer je merenje 02.11.2022. izvršeno u uslovima prilično velike vlage (86 %).
- Kuhinja u oba slučaja (u trećoj i četvrtoj etapi, kada je mereno) ima više vrednosti, što ukazuje na postojanje nekog problematičnog mesta u ovom delu kuće: **pod ili zidovi, (ili oba), negde su propusni za radon**. Zid na kuhinji i spavaćoj sobi je zajednički za stari i novi deo kuće. Opravdana je pretpostavka da je doživljavanjem kuće “napravljeno mesto” ulaska za radon. Iako merenja aktivnim uređajem nisu otkrila **slabe tačke u konstrukciji kuće**, ipak se to smatra glavnim razlogom za izmerene povišene koncentracije radona.

Uzimajući u obzir navedena razmatranja, dolazi se do zaključka da su rezultati, ipak, u skladu sa dosadašnjim saznanjima o radonu i njegovim sezonskim i drugim varijacijama. Mesta ulaska za radon u kuću nije lako otkriti ali je činjenica da postoje i da su povezani sa kvalitetom izvođenja završnih radova, kvalitetom hidroizolacije i instalacija.

Na kraju, ono zbog čega je sve ovo rađeno. Vlasniku kuće su date preporuke za češće provetranje prostorija i, ako je moguće, poboljšanje hidroizolacije u novom delu kuće. Da bi se došlo do konačnog zaključka o potrebi remedijacije predloženo je dugotrajno merenje trag detektorima. Ovakvo merenje (uz normalno korišćenje prostora), dalo bi godišnju prosečnu koncentraciju radona, a to je veličina koja se, po COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM [7] i domaćoj regulativi [8], poredi sa referentnim vrednostima.

Literatura

- [1] D.J. Gray, S.T. Windham. EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, EPA 520/5-87-005, 1987
- [2] SRPS ISO 18589-3 Merenje radioaktivnosti u životnoj sredini–Zemljište, deo 3, Merenje radionuklida, emitera gama zračenja, mart 2011
- [3] I. Čeliković, M. Đurašević, P. Ujić, P. Repić, A. Kandić, B. Lončar. Ispitivanje brzine ekshalacije radona: uticaj spraošenosti i vlažnosti uzorka, Zbornik radova, XXIX Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 27–29. Septembar 2017, Srebrno jezero, 225-231

-
- [4] P. Ujić, I. Čeliković, A. Kandić, Z. Žunić. Standardization and difficulties of the thoron exhalation rate measurements using an accumulation chamber. *Radiat. Meas.* 43, 2008, 1396–1401.
- [5] World Health Organization, Guidelines for indoor air quality: Selected pollutants, WHO Regional Office for Europe, 2010 ch. 7, pp. 347-369.
- [6] G. Pantelić, M. Rajačić, J. Krneta Nikolić, I. Vukanac, M. Živanović, I. Čeliković, D. Todorović, M. Janković, N. Sarap, M. Radenković. Sezonske varijacije koncentracije radona, Zbornik radova XXX simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 02–04. Oktobar 2019, Divčibare, 215-219.
- [7] COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation
- [8] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Sl. gl. RS 86/11 i Sl. gl. RS 50/18)
- [9] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2010.

INDOOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENT - CASE STUDY

Vesna ARSIĆ¹, Igor ČELIKOVIĆ², Irena TANASKOVIĆ¹, Suzana BOGOJEVIĆ¹,
Jovana ILIĆ¹

- 1) *Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović", Radioactivity Measurement Laboratory, Deligradska 29, Belgrade, Serbia*
- 2) *"Vinča" Institute of Nuclear Sciences, Institute of National Importance for the Republic of Serbia, University of Belgrade, Nuclear and Plasma Physics Laboratory Belgrade, Serbia*

ABSTRACT

The Radioactivity Measurement Laboratory has initially measured the radon concentration, in a private house on Bežanijska Kosa in Belgrade, by activated charcoal canisters and established a high concentration in the new part of the house. In order to determine the reasons for the increased radon concentration, new measurements were organized three more times, in different periods, covering all four seasons. This paper presents a report of these measurements in which, the Nuclear And Plasma Physics Laboratory Of The "Vinca" Institute also participated with the combination of a larger number of methods: radon concentration measurement by activated charcoal canisters, radon concentration measurement by active device – alpha-spectrometer, determination of radon concentrations on the basis of radon exhalation rate from the floor of the room, from the building material, on the basis of the radon measurement from the soil, estimation of radon concentration on the basis of gamma spectrometry analysis of the soil sample, taken from the yard in front of the house. Analysis of the obtained results confirmed previous knowledge about seasonal and others variations in radon concentration.

САДРЖАЈ

ОПШТИ ПРОБЛЕМИ ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА GENERAL PROBLEMS OF RADIATION PROTECTION 1

OPRAVDANOST, OPTIMIZACIJA I REFERENTNI NIVOI U SITUACIJAMA POSTOJEĆEG IZLAGANJA 2

JUSTIFICATION, OPTIMIZATION AND REFERENCE LEVELS IN EXISTING EXPOSURE SITUATIONS 8

METROPOEM PROJEKAT – METROLOGIJA ZA HARMONIZACIJU MERENJA ZAGADJIVAČA ŽIVOTNE SREDINE U EVROPI 9

METROPOEM – METROLOGY FOR THE HARMONISATION OF MEASUREMENTS OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS IN EUROPE 14

РАДИОЕКОЛОГИЈА И ИЗЛАГАЊЕ СТАНОВНИШТВА RADIOECOLOGY AND POPULATION EXPOSURE 15

RADIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA NA TERITORIJI VOJVODINE 16

RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL SOIL IN THE TERRITORY OF VOJVODINA 23

MONITORING RADIOAKTIVNOSTI I PROCENA RADIJACIONOG RIZIKA U OKOLINI TERMOELEKTRANA U REPUBLICI SRBIJI U 2021. I 2022. GODINI 24

RADIOACTIVITY MONITORING AND RADIATION RISK ASSESSMENT IN THE SURROUNDINGS OF THERMAL POWER PLANTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA IN 2021 AND 2022 29

GRAMON BAZA PODATAKA: DESETOGODIŠNJA MERENJA SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U VAZDUHU 30

GRAMON DATABASE: TEN YEARS OF BERYLLIUM-7 SPECIFIC ACTIVITY MEASUREMENTS 35

ISPITIVANJE SADRŽAJA RADIONUKLIDA U VODI I SEDIMENTU, REKA SAVA 36

RADIONUCLIDES IN WATER AND SEDIMENT, SAVA RIVER 41

RADIOLOŠKA ANALIZA NEKIH VRSTA LEKOVITOG BILJA SA PODRUČJA GUČEVA I PROCENA GODIŠNJE EFEKTIVNE DOZE USLED INGESTIJE 42

RADIOLOGICAL ANALYSIS OF SOME TYPES OF MEDICINAL PLANTS FROM THE GUČEVO AREA AND ESTIMATION OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE DUE TO INGESTATION 48

PRIMENA JONOIZMENJIVAČKIH SMOLA ZA GAMA SPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE RADIJUMA U VODI 49

APPLICATION OF ION EXCHANGE RESINS FOR GAMMA SPECTROMETRIC DETERMINATION OF RADIUM IN WATER 55

ODREĐIVANJE VEŠTAČKIH I PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORKU ZEMLJIŠTA U SVRHU INTERKOMPARACIJE IAEA-TERC-2022-02 56

DETERMINATION OF GAMMA-EMITTING ANTHROPOGENIC AND NATURAL RADIONUCLIDES IN SOIL SAMPLE FOR THE PURPOSE OF PROFICIENCY TEST IAEA-TERC-2022-02 ALMERA 61

RASPODELA KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKIDA U UZORCIMA ŽIVOTNE SREDINE KAO POSLEDICA RADA TERMOELEKTRANE “KOLUBARA” U PERIODU 2010 – 2022. GODINE 62

THE ACTIVITY CONCENTRATION DISTRIBUTIONS OF NATURALLY OCCURRING RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENTAL SAMPLES AS A RESULT OF THE OPERATION OF THE “KOLUBARA” COAL-FIRED POWER PLANT IN THE PERIOD OF 2010 – 2022. 70

RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ALKALI ACTIVATED MATERIALS CONTAINING WOOD AND FLY ASH 71

RADIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA ALKALNO AKTIVNIH MATERIJALA KOJI SADRŽE DRVENI I LETEĆI PEPEO	79
POTENCIJALNI ODNOS IZMEĐU KONCENTRACIJE TRICIJUMA U KIŠNICI I REKAMA.....	80
RELATIONSHIP BETWEEN TRITIUM CONCENTRATIONS IN PRECIPITATION AND RIVERS.....	85
ANALIZA TRENDA PROMENE UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI U POLJOPRIVREDNOM EKOSISTEMU.....	86
ANALYSIS OF TREND OF THE GROSS ALPHA AND GROSS BETA ACTIVITY IN THE AGRICULTURAL ECOSYSTEM.....	92
AKUMULACIJA RADIONUKLIDA IZ ZEMLJIŠTA U PLODOVIMA LEŠNIKA	93
ACCUMULATION OF RADIONUCLIDES FROM SOIL IN HAZELNUT FRUITS.....	102
REZULTATI MERENJA PRIVATNE MERNE STANICE U POŽAREVCU ZA KONTINUALNO MERENJE AMBIJENTALNOG EKVIVALENTA DOZE ZA 2021. I 2022. GODINU.....	103
MEASUREMENT RESULTS OF PRIVATE MEASURING STATION IN POŽAREVAC FOR CONTINUOUS MEASUREMENT OF AMBIENT DOSE EQUIVALENT FOR 2021 AND 2022	109
ISPITIVANJE KONCENTRACIJE RADIONUKLIDA U SEDIMENTU PODMORJA CRNE GORE	110
CONCENTRATION OF RADIONUCLIDES IN THE SUBMARINE SEDIMENT OF MONTENEGRO	115
SADRŽAJ RADIONUKLIDA I DOZA INGESTIJOM ZA ČAJEVE SPRAVLJENE OD LEKOVITOG BILJA SA TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE.....	116
RADIONUCLIDE CONTENT AND INGESTION DOSE FOR TEA MADE FROM MEDICINAL HERBES FROM THE THERITORY OF REPUBLIC OF SERBIA	121
ANALIZA FRAKTALNE PRIRODE SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE MERENE U BEOGRADU, SRBIJA (1991-2022)	122
ANALYSIS OF THE FRACTAL NATURE OF THE SPECIFIC ACTIVITY OF BERYLLIUM-7 IN THE NEAR-SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE MEASURED IN BELGRADE, SERBIA (1991–2022)	127
FLY-ASH FOR USAGE IN THE BUILDING MATERIAL INDUSTRY	128
UPOTREBA LETEĆEG PEPELA U INDUSTRIJI GRAĐEVINSKOG MATERIJALA	136
IZBOR REFERENTNOG DATUMA ZA PREZENTOVANJE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA U VREMENSKI KOMPOZITNIM UZORCIMA.....	137
SELECTION OF REFERENCE DATE FOR PRESENTATION OF RADIONUCLIDE ACTIVITY IN TIME-COMPOSITE SAMPLES.....	142
SADRŽAJ RADIONUKLIDA I TEŠKIH METALA U OTPADNOM TALOGU OD PREČIŠĆAVANJA RASTVORA ZA ELEKTROLIZU CINKA U “ZORKI” ŠABAC	143
CONTENT OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS IN THE WASTE PRECIPITATE FROM THE PURIFICATION OF THE SOLUTION FOR THE ELECTROLYSIS OF ZINC IN "ZORKA" ŠABAC	152
SOIL TO PLANT TRANSFER OF CS-137, SR-90, RA-226, PB-210 AND K-40 IN DIFFERENT AGRICULTURAL PRODUCTS IN CROATIA.....	153
PRIJENOS CS-137, SR-90, RA-226, PB-210 I K-40 IZ TLA U BILJKU U RAZLIČITIM POLJOPRIVREDNIM KULTURAMA U HRVATSKOJ	159
РАДОН RADON.....	160
MERENJE RADIOAKTIVNOSTI I EKSHALACIJE RADONA IZ KONCENTRATA ARSENA KORIŠĆENOG U INDUSTRIJI CINKA „ZORKA” ŠABAC	161
MEASUREMENTS OF RADIOACTIVITY AND RADON EXHALATION FROM THE ARSENIC CONCENTRATE USED IN THE ZINC INDUSTRY "ZORKA" ŠABAC	171
RADON U SREDNJIM ŠKOLAMA U CRNOJ GORI.....	172

RADON IN SECONDARY SCHOOLS IN MONTENEGRO.....	177
RAZVOJ METODOLOGIJE ZA BRZU DIJAGNOSTIKU POVIŠENIH NIVOVA RADONA I ANALIZU GEOLOŠKIH FAKTORA U RADONOM UGROŽENIM PODRUČJIMA	178
DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR RAPID DIAGNOSTIC OF ELEVATED RADON LEVELS AND ANALYSIS OF GEOLOGICAL FACTORS IN RADON PRIORITY AREAS.....	185
MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENOM PROSTORU – PRIKAZ JEDNOG SLUČAJA.....	186
INDOOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENT - CASE STUDY	195
TRACERADON PROJEKAT – PREGLED NAJVAŽNIJIH REZULTATA.....	196
TRACERADON PROJECT – AN OVERVIEW OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS	205
MONITORING KONCENTRACIJE RADONA U RADNOM PROSTORU, LABORATORIJA PMF-A U KOSOVSKOJ MITROVICI	206
MONITORING OF RADON CONCENTRATION IN THE WORKPLACE, LABORATORY OF FACULTY IN KOSOVSKA MITROVICA.....	211
ISPITIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA SA VODOIZVORIŠTA U CRNOJ GORI	212
INVESTIGATION OF RADON ACTIVITY CONCENTRATION FROM WATER SOURCES IN MONTENEGRO	218
METODE DETEKCIJE I MERNA INSTRUMENTACIJA DETECTION METHODS AND MEASUREMENT INSTRUMENTATION.....	219
PONOVLJIVOST ODREĐIVANJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA CS-137 IZ CILINDRIČNOG RADIOAKTIVNOG IZVORA.....	220
REPEATABILITY OF CS-137 RADIONUCLIDE ACTIVITY DETERMINATION FROM CYLINDRICAL RADIOACTIVE SOURCE	224
VARIJACIJE FONA HPGE DETEKTORA	225
BACKGROUND VARIATIONS OF HPGE DETECTORS	231
INTERNA KONTROLA KVALITETA HPGE GAMASPEKTROMETRIJSKOG SISTEMA.....	232
INTERNAL QUALITY CONTROL OF HPGE GAMMA SPECTROMETRY SYSTEM.....	237
ODREĐIVANJE SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA MINERALNIH ĐUBRIVA.....	238
DETERMINATION OF THE CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES IN SAMPLES OF MINERAL FERTILIZERS.....	244
GODIŠNJA KONTROLA DETEKTORA INSPECTOR 1000 I RADEYE PRD	245
ANNUAL CONTROL OF INSPECTOR 1000 AND RADEYE PRD DETECTORS.....	251
UPOTREBA FRAM SOFTVERA U ANALIZI GAMA SPEKTARA NUKLEARNIH MATERIJALA	252
FRAM SOFTVER	252
THE USE OF FRAM SOFTWARE IN THE ANALYSIS OF GAMMA SPECTRA OF NUCLEAR MATERIALS	258
REZULTATI ISPITIVANJA SONDE S1 SA KOMPENZACIONIM FILTEROM ZA MERENJE AMBIJENTALNOG EKVIVALENTA DOZE ZA UREĐAJ DMRZ-M15	259
TEST RESULTS OF PROBE S1 WITH COMPENSATION FILTER FOR MEASURING THE AMBIENT EQUIVALENT DOSE USED WITH DMRZ-M15 SURVEY METER.....	264
MERNA NESIGURNOST AMBIJENTALNIH FOTONSKIH DOZIMETARA U IMPULSNOM REŽIMU RADA SA POSEBNIM OSVRTOM NA UTICAJ OSETLJIVOSTI DETEKCIJE I VREMENA MERENJA	265

MEASUREMENT UNCERTAINTY OF AMBIENT PHOTON DOSIMETERS IN PULSE MODE OPERATION WITH SPECIAL EMPHASIS TO THE INFLUENCE OF DETECTION SENSITIVITY AND MEASUREMENT TIME	271
PRIPREMA RADIOAKTIVNIH STANDARDA ZA KALIBRACIJU GAMA SPEKTROMETARA	272
PREPARATION OF RADIOACTIVE STANDARDS FOR CALIBRATION OF GAMMA SPECTROMETER	279
ODREĐIVANJE SR-89 I SR-90 ČERENKOVljeVIM BROJENJEM.....	280
DETERMINATION OF SR-89 AND SR-90 BY CHERENKOV COUNTING.....	286
ANALIZA FLUKSA I DOZNIH EFEKATA TERESTRIJALNOG SKYSHINE ZRAČENJA	287
ANALYSIS OF FLUX AND DOSE EFFECTS OF TERRESTRIAL SKYSHINE RADIATION	292
KALIBRACIJA LSC DETEKTORA U OKVIRU RAZVOJA METODE ZA MERENJE URANIJUMA U PODZEMNIM VODAMA	293
CALIBRATION OF LSC DETECTOR FOR THE DEVELOPMENT OF METHOD FOR MEASURING URANIUM IN GROUNDWATER.....	297
ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊА У МЕДИЦИНИ RADIATION PROTECTION IN MEDICINE.....	298
ANALIZA RASEJANJA ZRAČENJA OD ZAUSTAVLJAČA SNOPA KOD LINEARNIH MEDICINSKIH AKCELERATORA	299
ANALYSIS OF RADIATION SCATTERING FROM BEAM STOPPERS AT LINEAR MEDICAL ACCELERATORS.....	305
UNAPREĐENJE ZAŠTITE MEDICINSKOG OSOBLJA KOJE UČESTVUJE U FLUOROSKOPSKI VOĐENIM INTERVENTNIM PROCEDURAMA UVOĐENJEM POLUAUTOMATSKOG SISTEMA UPRAVLJANJA VISEĆIM ZAŠTITNIM EKTRANOM.....	306
IMPROVING THE PROTECTION OF MEDICAL STAFF PARTICIPATING IN FLUOROSCOPICALLY GUIDED INTERVENTIONAL PROCEDURES BY INTRODUCING A SEMI-AUTOMATIC SYSTEM FOR MANAGING A CEILING-SUSPENDED PROTECTIVE SCREEN.....	312
NOVI PRISTUP U KONSTRUKCIJI ZAŠTITE U BRAHITERAPIJI-BRAHITERAPIJSKA KOMORA	313
A NEW APPROACH IN THE CONSTRUCTION OF PROTECTION IN BRACHYTHERAPY – BRACHYTHERAPY CHAMBER.....	320
EKSPERIMENTALNI MODEL ZA PROCENU MOGUĆEG RADIOPROTEKTIVNOG EFEKTA BILJNOG EKSTRAKTA	321
EXPERIMENTAL MODEL FOR ASSESSING THE POSSIBLE RADIOPROTECTIVE EFFECT OF PLANT EXTRACT	327
CT PROTOKOL I VRIJEDNOSTI DOZA ZA PREGLED UROGRAFIJE.....	328
CT PROTOCOL AND DOSE VALUES FOR UROGRAPHY EXAMINATION.....	334
STANJE RENDGEN-APARATA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI U CRNOJ GORI.....	335
THE CONDITION OF X-RAY MACHINES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY IN MONTENEGRO	341
VALIDACIJA ITLC METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA RADIOHEMIJSKE NEČISTOĆE C U ^{99m} Tc-MIBI INJEKCIJI	342
VALIDATION OF AN ITLC METHOD FOR THE DETERMINATION OF RADIOCHEMICAL IMPURITIES C IN ^{99m} Tc-MIBI INJECTION.....	349
METODA ISPITIVANJA FIZIOLOŠKE RASPODELE ^{99m} Tc-DPD.....	350
METHOD FOR INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL DISTRIBUTION OF ^{99m} Tc DPD	355
AUTOMATIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE RADIOFARMACEUTIKA U CILJU SMANJENJA DOZE ZRAČENJA OPERATERA.....	356

AUTOMATION OF THE PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICAL WITH THE AIM TO REDUCE THE OPERATOR'S RADIATION DOSE	360
ДОЗИМЕТРИЈА DOSIMETRY	361
USPOSTAVLJANJE ETALONSKOG POLJA ZA MALE VREDNOSTI JAČINE DOZNOG EKVIVALENTA.....	362
ESTABLISHING CALIBRATION FIELD FOR SMALL VALUES OF DOSE EQUIVALENT RATE....	368
EVALUATION OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY DETECTOR PERFORMANCE IN REFERENCE MAMMOGRAPHY RADIATION FIELDS	369
EVALUACIJA PERFORMANSI DETEKTORA ZA DIJAGNOSTIČKU RADIOLOGIJU U REFERENTNIM POLJIMA ZRAČENJA ZA MAMMOGRAFIJU	375
PROVERA RADIOTERAPIJSKIH USTANOVA SRBIJE OD 2019. DO 2022. GODINE POŠTANSKOM DOZIMETRIJOM U VELIČINI APSORBOVANA DOZA U VODI.....	376
POSTAL DOSIMETRY AUDIT OF RADIOTHERAPY CENTERS IN SERBIA FOR THE PERIOD FROM 2019. TO 2022. IN TERMS OF ABSORBED DOSE TO WATER	381
THE INFLUENCE OF COMPRESSION PADDLE POSITIONING ON HVL MEASUREMENTS IN MAMMOGRAPHY	382
UTICAJ POZICIJE KOMPRESIJE PAPUČICE NA HVL MERENJA U MAMMOGRAFIJI	386
PRIMENA TL DOZIMETARA ZA ISPITIVANJE TAČNOSTI ISPORUČENE DOZE U OZRAČIVAČU KRVI	387
APPLICATION OF TL DOSIMETERS FOR TESTING THE ACCURACY OF DELIVERED DOSE IN BLOOD IRRADIATOR.....	393
БИОЛОШКИ ЕФЕКТИ ЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION	394
SINTEZA LUTECIJUMA(III) KOMPLEKSA SA POLIAZAMAKROCIKLIČNIM LIGANDOM	395
SYNTHESIS OF LUTETIUM(III) COMPLEX WITH A POLYAZAMACROCYCLIC LIGAND.....	400
ANTIOKSIDATIVNI I RADIOPROTEKTIVNI EFEKAT FLAVONOIDA NA UČESTALOST MIKRONUKLEUSA U HUMANIM LIMFOCITIMA	401
ANTIOXIDATIVE AND RADIOPROTECTIVE EFFECT OF FLAVONOIDS ON FREQUENCY OF MICRONUCLEI IN HUMAN LYMPHOCYTES.....	405
PROMENE GENETIČKOG MATERIJALA U LIMFOCITIMA PERIFERNE KRVI IZLOŽENIH U VANREDNOM DOGAĐAJU NA GRANIČNOM PRELAZU BEZDAN.....	406
CYTOGENETIC CHANGES IN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES OF THE EXPOSED PERSONS IN THE EMERGENCY EVENT AT THE BORDER CROSSING BEZDAN	410
ANALIZA ZDRAVSTVENOG STANJA RADNIKA NA CARINSKOM PRELAZU AKCIDENTALNO IZLOŽENIH RADIOAKTIVNOM ZRAČENJU	411
ANALYSIS OF THE HEALTH CONDITION AFTER THE EMERGENCY EVENT AT BEZDAN BORDER CROSSING	416
THE EFFECT OF HONEY ON MALONDIALDEHYDE LEVEL IN PLASMA EXPOSED TO A THERAPEUTIC DOSE OF RADIATION.....	417
DELOVANJE MEDA NA NIVO MALONDIALDEHIDA U PLAZMI IZLOŽENOJ TERAPIJSKOJ DOZI ZRAČENJA.....	423
OKSIDATIVNI STATUS KOD PACIJENATA OBOLELIH OD DOBRO DIFERENTOVANIH KARCINOMA ŠTITASTE ŽLEZDE NAKON TERAPIJE ¹³¹ I.....	424
OXIDATIVE STATUS IN PATIENTS SUFFERED FROM WELL DIFFERENTIATED THYROID CARCINOMA AFTER ¹³¹ I THERAPY.....	429

РАДИОАКТИВНИ ОТПАД И ДЕКОНТАМИНАЦИЈА RADIOACTIVE WASTE AND DECONTAMINATION.....430

BEZBEDNO UPRAVLJANJE ZATVORENIM IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA: MOGUĆI PRISTUPI, RUKOVANJE, KONDICIONIRANJE I SKLADIŠTENJE 431

SAFE MANAGEMENT OF SEALED RADIOACTIVE SOURCES: POSSIBLE APPROACHES, HANDLING, CONDITIONING AND STORAGE 438

EFIKASNOST I KAPACITET SORPCIJE JONA BA^{2+} ZEOLITOM 4A I PRIRODNI KLINOPTILOLITOM I UTICAJ KOMPETICIJE SA JONIMA SR^{2+} 439

EFFICIENCY AND CAPACITY OF BA^{2+} IONS SORPTION BY ZEOLITE 4A AND NATURAL KLINOPTILOLITE AND INFLUENCE OF COMPETING SR^{2+} IONS..... 444

PREGLED POTENCIJALNIH PRIMENA OTPADNOG STAKLA EKRANA U MALTER-MATRIKSU ZA IMOBILIZACIJU TEČNOG RADIOAKTIVNOG OTPADA 445

OVERVIEW OF POTENTIAL APPLICATIONS OF SCREEN WASTE GLASS IN MORTAR-MATRIX FOR LIQUID RADIOACTIVE WASTE IMMOBILIZATION 451

ПРОБНИ РАД ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕРАДУ РАДИОАКТИВНОГ ОТПАДА БЕЗ РАДИОАКТИВНИХ И НУКЛЕАРНИХ МАТЕРИЈАЛА 452

TRIAL OPERATION OF THE RADIOACTIVE WASTE PROCESSING FACILITY WITHOUT RADIOACTIVE AND NUCLEAR MATERIALS 460

UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM INSTITUTA ZA ONKOLOGIJU I RADIOLOGIJU SRBIJE 461

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT OF THE INSTITUTE FOR ONCOLOGY AND RADIOLOGY OF SERBIA 468

РЕГУЛАТИВА, ЕДУКАЦИЈА И ЈАВНО ИНФОРМИСАЊЕ REGULATION, EDUCATION AND PUBLIC INFORMATION.....469

PRIMENA KAZNENIH MERA U INSPEKCIJSKOM NADZORU 470

APPLICATION OF PENALTIES IN INSPECTION OVERSIGHT 476

TERMINOLOGIJA U OBLASTI RADIJACIONE I NUKLEARNE SIGURNOSTI I BEZBEDNOSTI – IZAZOVI..... 477

TERMINOLOGY IN THE FIELD OF RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AND SECURITY – CHALLENGES 482

BEZBEDNOSNI IZAZOVI USLED POJAVE FALSIFIKOVANIH, LAŽNIH I SUMNJIVIH PREDMETA U LANCU NUKLEARNOG SNABDEVANJA 483

SECURITY CHALLENGES DUE TO THE APPEARANCE OF COUNTERFEIT, FAKE AND SUSPICIOUS ITEMS IN THE NUCLEAR SUPPLY CHAIN..... 488

UNAPREĐENJE REGULATORNOG OKVIRA U OBLASTI PRIMENE IZVORA ZRAČENJA U MEDICINI..... 489

IMPROVEMENT OF THE REGULATORY FRAMEWORK IN THE FIELD OF APPLICATION OF RADIATION SOURCES IN MEDICINE..... 495

GENERALNA PREVENCIJA ILEGALNE TRGOVINE RADIOAKTIVNIH MATERIJALA 496

GENERAL PREVENTION OF RADIOACTIVE MATERIALS ILLICIT TRAFFICKING..... 508

НЕЈОНИЗУЈУЋА ЗРАЧЕЊА NON-IONIZING RADIATION509

UTICAJ EVOLUCIJE MOBILNIH TEHNOLOGIJA NA IZLAGANJE LJUDI EM POLJIMA..... 510

THE INFLUENCE OF THE EVOLUTION OF MOBILE TECHNOLOGIES ON THE EXPOSURE OF PEOPLE TO EM FIELDS..... 518

ФОТОТЕРАПИЈА ЗА НЕОНАТАЛНУ ХИПЕРБИЛИРУБИНЕМИЈУ 519

PHOTOTHERAPY FOR NEONATAL HYPERBILIRUBINEMIA 525