



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. 26

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

TRACERADON PROJEKAT – PREGLED NAJVAŽNIJIH REZULTATA

Igor ČELIKOVIĆ¹, Ivana VUKANAC¹, Gordana PANTELIĆ¹, Miloš ŽIVANOVIĆ¹,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ¹

1) *Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd*

Autor za korespondenciju: Igor ČELIKOVIĆ, icelikovic@vin.bg.ac.rs

SAŽETAK

Oko pola efektivne doze koju stanovništvo primi usled izlaganja jonizujućem zračenju potiče od radona i njegovih potomaka, te je problematika radona važna u oblasti zaštite od zračenja. Takođe, kao hemijski inertan gas, radon je našao primenu u izučavanju životne sredine kao traser za razne geološke i atmosferske procese. Jedna od važnih primena radona je u problematici praćenja gasova koji izazivaju efekat staklene bašte (greenhouse gases – GHG). Pokazano je da se poznavanjem fluksa radona iz zemlje i priraštaja koncentracije radona i koncentracije GHG u istom vremenskom intervalu tokom noći može odrediti fluks GHG.

U ovom radu će biti prikazani odabrani rezultati nedavno završenog traceRadon projekta čiji je cilj bio razvijanje metrološki sledivih metoda merenja niskih koncentracija radona u atmosferi u granicama od 1 Bq m^{-3} do 100 Bq m^{-3} , kao i unapređenje tehnika merenja i samo merenje radonskog fluksa, što će doprineti ispitivanju klimatskih promena kroz obezbeđivanje pouzdane procene fluksa GHG. Takođe, u sklopu projekta, vršila se procena do koje mere se radon u spoljašnjoj sredini i radonski fluks mogu koristiti za procenu radonskih prioriternih oblasti.

Uvod

Svetska zdravstvena organizacija (World Health Organization – WHO) je identifikovala radon kao jedan od najvažnijih uzročnika kancera pluća. Procenjeno je da je radon sa svojim potomcima, na godišnjem nivou, odgovoran za otprilike 20000 smrti u Evropskoj Uniji usled kancera pluća [1]. Zbog toga je Savet Evrope u okviru EURATOM directive (2013/59/EURATOM) obavezao zemlje članice Evropske Unije da razviju Radonski Akcioni Plan (RAP), identifikuju radonske prioritne oblasti (RPA – Radon Priority Areas) i informišu javnost o koncentracijama radona, što je samo jedan deo direktive EU o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potiču od izloženosti jonizujućem zračenju (EU-BSS – European Union basic safety standards) [2]. U cilju usklađivanja sa EU-BSS započeti su novi nacionalni radonski projekti, neke države su ponovile merenja radona na nacionalnom nivou, diskutovan je i koncept RPA koji varira od države do države [3-5]. Konačno, jedan od ciljeva prethodnog MetroRADON projekta (16ENV10 “Metrology for radon monitoring” <http://metroradon.eu>) je bio da se kroz razvoj procedura kalibracije obezbedi sledivost radonskih merenja na koncentracijama u rasponu od 100 Bq m^{-3} – 300 Bq m^{-3} čime bi se potpomogla realizacija nacionalnih radonskih akcionih planova [6].

S druge strane, zahvaljujući činjenici da je plemenit gas, a samim tim i hemijski inertan, sa periodom poluraspada od 3.82 dana, radon se koristi kao traser za različite geološke i atmosferske procese kao što su: predviđanje vulkanske aktivnosti i zemljotresa, identifikacija i mapiranje geoloških raseda, kretanje podzemnih voda, identifikaciju kontaminacije tečnostima u nevedenoj fazi, za procenu fluksa gasova koji izazivaju efekat staklene bašte

(GHG – greenhouse gases), procenu mešanja vazдушnih masa u atmosferskom graničnom sloju i njeno modelovanje [7-15].

Jedan od metoda koji je interesantan naučnicima koji izučavaju klimatske promene je RTM (radon tracer metod) kod kojeg se na osnovu poznavanja promene koncentracije radona i GHG u atmosferi u određenom vremenskom intervalu i izmerenog radonskog fluksa može odrediti fluks GHG [11].

Metrološki projekat EMPIR 19ENV01 traceRadon “Radon metrology for use in climate change observation and radiation protection at the environmental level” u slobodnom prevodu „Metrologija radona u cilju praćenja klimatskih promena i zaštiti od zračenja“ imao je za cilj da, merenjem radonskog fluksa i radona u spoljašnjem vazduhu, poveže oblast zaštite od zračenja (npr. za procenu i identifikaciju radonskih prioriternih oblasti) sa problematikom praćenje klimatskih promena [16].

U ovom radu će biti sažeti glavni ciljevi i neki od rezultata nedavno završenog traceRadon projekta.

traceRadon: radni paketi i ciljevi

Projekat traceRadon je realizovan kroz 4 naučna radna paketa (WP – Work Package) i dva vezana za diseminaciju rezultata i upravljanje projektom:

- WP1: Sledivo merenje spoljašnje koncentracije radona
- WP2: Merenja radonskog fluksa
- WP3: Validacija modela radonskog fluksa koristeći izmeren radonski fluks
- WP4: Korišćenje spoljašnjeg radona i radonskog fluksa u zaštiti od zračenja
- WP5: Uticajnost projekta
- WP6: Upravljanje projektom

Glavni cilj projekta je bio razvoj metrološke infrastrukture, koja bi uključivala referentne instrumente, sledive izvore i razvoj metodologije, kako bi se obezbedilo merenje niskih koncentracija radona u životnoj sredini, što bi dalje moglo da se koristi za razvoj strategije smanjenja GHG i poboljšanja zaštite stanovništva od zračenja.

Specifični ciljevi su:

1. Da se razviju sledive metode za merenje spoljašnje, niske koncentracije radona u opsegu od 1 Bq m^{-3} do 100 Bq m^{-3} sa mernom nesigurnošću od 10%, pri jednoj standardnoj devijaciji. Ove metode uključuju razvoj dva Rn-222 emanaciona izvora jačine ispod 100 Bq m^{-3} , etaloniranje transfer instrumenta tim izvorima, kako bi se obezbedila sledivost i samu proceduru etaloniranja koja mora obezbediti sledivost merenja spoljašnje koncentracije radona na terenu.
2. Da se razvije instalacija za sledivo merenje radonskog fluksa na terenu, zasnovano na razvoju referentnog sistema za ekshalaciju radona, tzv. “ekshalacionog kreveta” i transferu standarda. Ova instalacija bi se koristila za harmonizaciju postojećih metoda i instrumenata za merenje radonskog fluksa kroz interkomparaciju.
3. Da se razvije prvi standardizovani protokol za primenu radon tracer metode (RTM – radon tracer method) u cilju dobijanja informacije o fluksu GHG na mernim stanicama za praćenje gasova u atmosferi
4. Da se ustanovi do koje mere radonski fluks može poslužiti za identifikaciju radonski prioriternih oblasti

Da se izvrši validacija modela radonskog fluksa i inventara (inventories) korišćenjem novih sledivih merenja radonskog fluksa i spoljašnjeg radona. Da se izvrši validacija sa

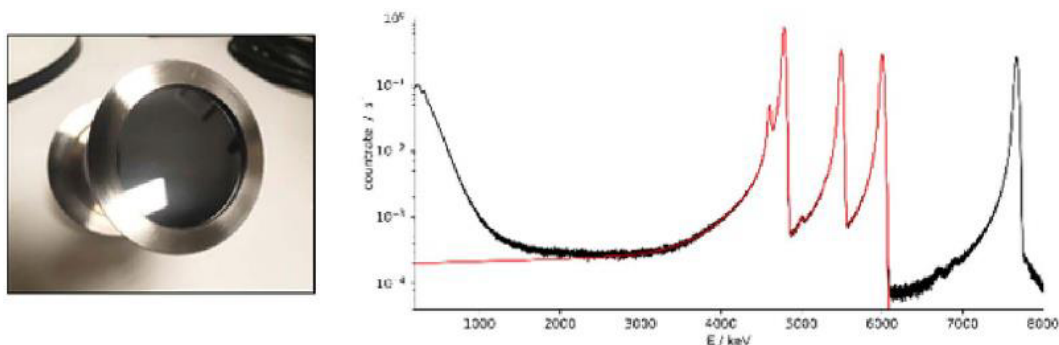
dozimetrijskim i spektrometrijskim podacima sa evropske mreže za rano upozorenje na radioaktivnost. Da se izvrši validacija radonskih mapa koje bi imale primenu u RTM i zaštiti od zračenja.

Rezultati

U nastavku rada su prikazani odabrani rezultati postignuti za vreme trajanja traceRadon projekta.

WP1 Sledivo merenje spoljašnje koncentracije radona

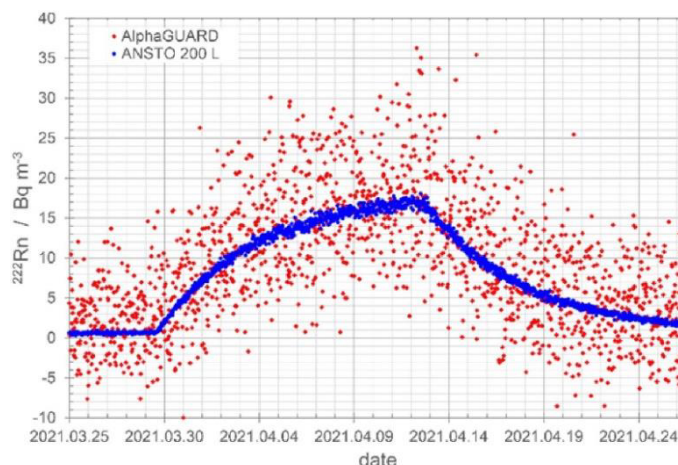
Dok je tokom MetroRADON projekta razvijena metodologija za sledivost merenja koncentracije radona do SI sistema u opsegu od (100 – 300) Bq m⁻³, što je bilo od interesa za merenje koncentracije radona i zatvorenim prostorijama, za ciljeve traceRadon projekta bilo je potrebno obezbediti sledivost merenja koja odgovaraju niskim koncentracijama radona u spoljašnjem prostoru u opsegu od (1 – 100) Bq m⁻³. Na osnovu pregleda literature utvrđeno je da nema odgovarajućih izvora, pa su tokom projekta razvijena dva emanaciona izvora zasnovana na različitim principima. Češki metrološki institut (CMI - Czech metrology institute) je koristio emulziju soli formirnu iz standardnog rastvora koja je stavljena u čelični cilindar sa ventilima i kontrolom protoka kako bi se obezbedila stabilna koncentracija radona. Sledivost Ra-226 je obezbeđena merenjem mase i gama spektrometrijom. S druge strane PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) je konstruisao emanacioni izvor termalnim naparavanjem ²²⁶RaCl₂ na različite tipove podloge [17]. Sledivost je obezbeđena alfa-spektrometrijom i definisanim prostornim uglom, što je primarna, standardna metoda za određivanje alfa-aktivnosti izotopa od interesa. Iskorak u naučnom smislu je postignut kad je na silicijumski detektor naparen ²²⁶RaCl₂ čime je dobijen integrisani radonski izvor i detektor (IRSD – integrated radon source detector). Na Slici 1. je prikazan izgled detektora i njegov spektar. Detaljne karakteristike ovog uređaja se mogu naći u referenci Mertes et al. [18]. Na ovaj način je postignuto da emanacioni izvori mogu omogućiti etaloniranje radonskih uređaja, u referentnoj kalibracionoj komori, na niskim koncentracijama radona do 10 Bq m⁻³. Postignuta je merna nesigurnost manja od 10 %, što je do sada bilo moguće postići jedino sa 2 reda veličine višim koncentracijama.



Slika 1: Integrisan izvor-detektor sistem (ISDS) Silicijumski detektor sa naparenim RaCl₂ na mrtvom sloju detektora i odgovarajući alfa spektar

Sledeći korak u obezbeđivanju lanca sledivosti je određivanje mogućeg transfer standard detektora koji će obezbediti transfer iz laboratorije tj. kalibracione komore na teren. U tu svrhu su u prvoj iteraciji odabrani ANSTO radonski detektor aktivne zapremine 200 l [19] i AlphaGuard PQ2000Pro, Bertin Instruments. Detektori su etalonirani u velikoj klimatskoj radonskoj komori instaliranoj u PTBu, sa niskom ali i promenljivom koncentracijom radona kako bi se realno ispratili varijacije radona koje postoje i u atmosferi. Na Slici 2. je simbolima crvene boje prikazan odziv AlphaGuard detektora, dok je odziv ANSTO 200l

uređaja prikazan plavom bojom. Svaka tačka odgovara usrednjavanju od pola sata. Rezultati ukazuju da je ANSTO 2001 pogodan da bude korišćen kao instrument za transfer standarda.



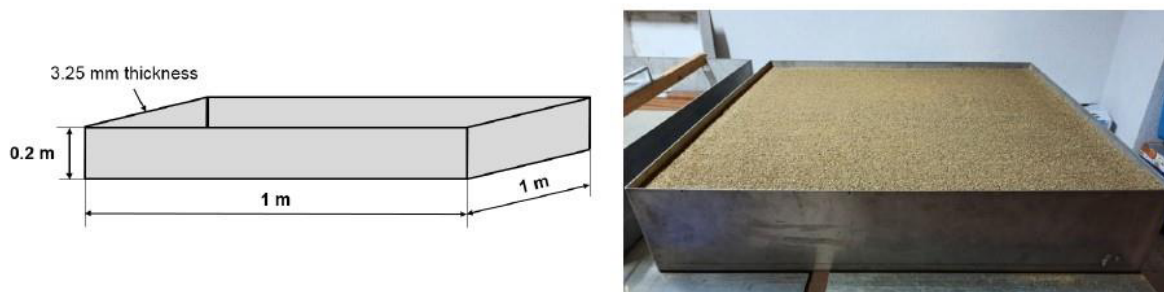
Slika 2: Etaloniranje AlphaGuard i ANSTO 2001 detektora u radonskoj komori sa niskom i promenljivom koncentracijom radona

Dugoročnom i kratkoročnom interkomparacijom ANSTO 2001 i unapredene verzije ARMON (Atmospheric Radon MONitor) [20], razvijenog u Politehničkom Univerzitetu u Kantabriji, utvrđeno je da nema statistički značajne razlike između ova dva uređaja i da i ANSTO2001 i ARMON mogu da se koriste kao transfer standard za sekundarnu kalibraciju.

WP2 Merenja radonskog fluksa

U cilju unapređenja tačnosti i povećanja broja merenja radonskog fluksa kako bi se izvršila validacija postojećih radonskih mapa i modela [21, 22] potrebno je obezbediti pun metrološki lanac kako bi se dobila slediva merenja radonskog fluksa. To se ostvarilo konstrukcijom ekshalacionog kreveta (exhalation bed), razvojem transfer standard instrumenta i interkomparacijom na terenu.

Referentni radonski ekshalacioni krevet čini čelična fioka dimenzija 1 m x 1 m x 0.2 m u koju je stavljena usitnjena, osušena i homogenizovan zemlja, sa visokim sadržajem ^{226}Ra , uzeta iz bivšeg rudnika urana u Salamanki, Španija. Na Slici 3 je dat shematski prikaz i slika ekshalacionog kreveta. U ekshalacionom krevetu je instaliran senzor vlage, a prati se još i pritisak i temperatura.



Slika 3: Shematski prikaz i slika ekshalacionog kreveta (uzeto iz [23] i D3 izveštaja)

Neki od parametara ekshalacionog kreveta su: emanacioni faktor: 0.18 ± 0.03 ; specifična aktivnost Ra-226: $(19130 \pm 350) \text{ Bq kg}^{-1}$; poroznost: 0.3599 ± 0.0001 ; difuzioni koeficijent:

$(3.47 \pm 0.08) 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, dok su procenjena i izmerena vrednost fluksa $(1918 \pm 278) \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i $(1757 \pm 67) \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, redom.

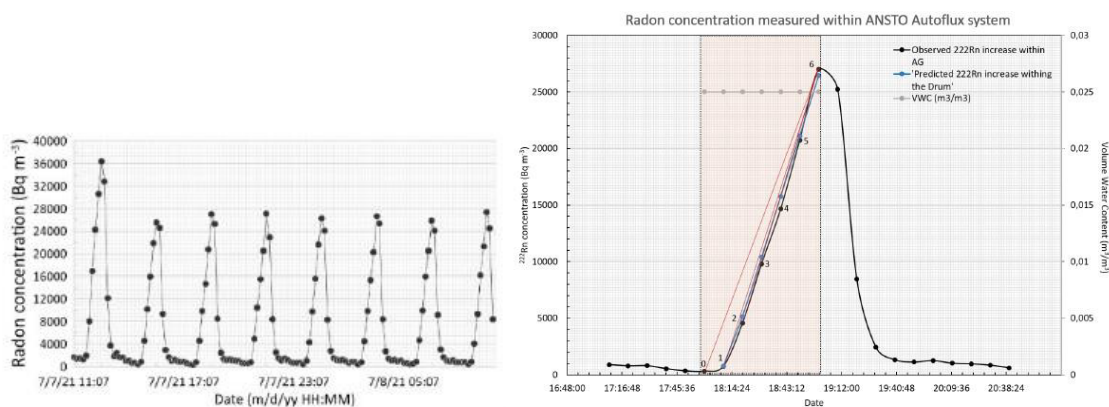
U cilju kreiranja instrumenta (sistema) za transfer standard radonskog fluksa, potrebno je između ostalog obezbediti: • da radonski monitor može meriti koncentraciju radona u protočnom modu sa vremenskom rezolucijom od 1 min – 10 min, i da može da detektuje koncentracije radona ispod 100 Bq m^{-3} ; • akumulaciona komora mora da se otvara automatski nakon svakog mernog perioda i da se brzo izvrši izmena vazduha u komori; • potrebno je pratiti ambijentalne uslove unutar i izvan komore...

Za tu svrhu kreiran je AutoFlux sistem (Slika 4.) čiji ciklus merenja traje 3 sata i time omogućava 8 automatskih merenja radonskog fluksa dnevno. Sistem je baziran na AlphaGuard PQ2000 PRO radonskom uređaju, akumulacionoj komori u obliku bubnja i desetak senzora koji omogućuju da se paralelno prate karakteristike zemljišta i meteorološki uslovi (više detalja u referenci) [23].



Slika 4: Prikaz Autoflux sistema: ekshalaciona kutija i kutija sa sensorima i AlphaGuardom [23]

Po dizajniranju, Autoflux sistem je karakterisan i etaloniran u laboratorijskim uslovima koristeći ekshalacioni krevet u dve kampanje merenja. Koncentracija radona izmerena Autoflux sistemom u jednoj kampanji merenja je prikazana na levoj strani Slike 5, dok je na desnoj strani Slike 5. prikazano nagomilavanje radona u akumulacionoj komori u jednom intervalu merenja. Postignuto je odlično slaganje između izmerenog (crne tačke) i predviđenog (plave tačke) porasta koncentracije radona.



Slika 5: (leva strana) Koncentracija radona izmerena Autoflux sistemom merena u jednoj kampanji i (desna strana) nagomilavanje radona u akumulacionoj komori u jednom intervalu merenja [23]

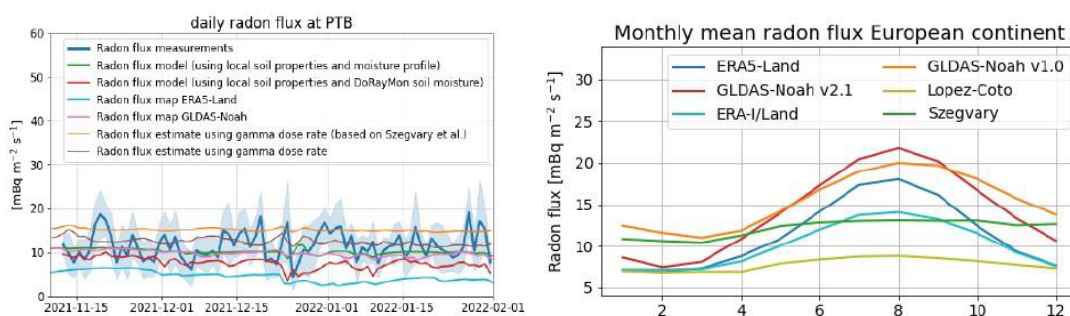
Po urađenoj karakterizaciji ekshalacionog kreveta i instrumenta za transfer standarda, razvijen je protokol za etaloniranje drugih sistema za merenje radonskog fluksa. Na Slici 6. je prikazano etaloniranje jednog sistema za merenje radonskog fluksa razvijenog u UPC u Kantabriji. Odnosom izmerenog radonskog fluksa dobijenog referentnim sistemom i onim sistemom koji se etalonira, dobija se odgovarajući kalibracioni faktor. Jedna od interkomparacija sa dostupnim sistemima za merenje radonskog fluksa je prikazana na desnoj strani Slike 6.



Slika 6: (leva strana) Etaloniranje sistema za merenje fluksa radona [23], (desna strana): jedna od interkomparacija dostupnih sistema za merenje fluksa [24]

WP3 Validacija modela radonskog fluksa koristeći izmeren radonski fluks

Pouzdana podaci o radonskom fluksu sa zadovoljavajućom prostornom i vremenskom rezolucijom su potrebni za primenu RTM i za validaciju modelovanja atmosferskog transporta. U sklopu WP3, testirane su evropske mape radonskog fluksa zasnovane ili na parametrizaciji proizvodnje radona i njegovog transporta (difuziono kretanje) ili na osnovu korelacije između gama doze i radonskog fluksa. Na Slici 7. su prikazane izmerena dnevna varijacija radonskog fluksa merena u PTB-u i vrednosti dobijene različitim modelima, kao i prosečna mesečna vrednost radonskog fluksa dobijena različitim modelima. Korišćeni su različiti modeli za procenu vlažnosti zemlje.



Slika 7: (leva strana): Dnevno merenje fluksa radona poređeno sa različitim modelima, (desna strana): jedna od interkomparacija dostupnih sistema za merenje fluksa [25]

Rezultati ukazuju da je za dobro predviđanje radonskog fluksa važan parametar vlažnost zemljišta i bolja slaganja su dobijena sa unapređenim modelima zemljišta. U sklopu WP2 su takođe vršena i merenja radonskog fluksa, kako bi se povećao broj tačaka za validaciju vrednosti Rn fluksa dobijenih modelovanjem.

Postojeći modeli zemljišta ne opisuju u dovoljnoj dobroj meri dnevnu varijabilnost vlažnosti zemljišta, što je od velike važnosti za modelovanje fluksa, pa je u okviru WP3 razvijan

(unapređivan) metod određivanja vlažnosti zemljišta gamaspektrometrijskom metodom [25,26].

WP4 Korišćenje spoljašnjeg radona i radonskog fluksa u zaštiti od zračenja

U okviru dva pregledna rada istraživalo se do koje mere se radonski fluks i spoljašnja koncentracija radona mogu koristiti za određivanje RPA [27,28]. Zbog same prirode merenja ove dve veličine, odnosno komplikovanog merenja koje zahteva prisustvo obučenog osoblja na mernoj lokaciji, primećeno je da su kampanje merenja obuhvatale mnogo manje mernih lokacija po jedinici površine u odnosu na kampanje merenja radona u zatvorenim prostorijama. Stoga, iako je na osnovu merenja, kreiran mali broj mapa, pitanje je do koje mere se te mape mogu smatrati reprezentativnim za dati region i kao takve da se koriste kao ulazni parameter za procenu RPA. S druge strane, pozitivna korelacija između radonskog fluksa, odnosno spoljašnje koncentracije radona i drugih mernih veličina (koncentracija radona u zatvorenom prostoru, sadržaj Ra-226 u zemlji.) ukazuju da je moguće koristiti ove dve veličine za predviđanje RPA, ali uz reprezentativan broj merenja.

U EURDEP (European Radiological Data Exchange platform) sistemu za rano uzbunjivanje, baziranom na merenju jačine ambijentalne doze pojavljuju se lažni pikovi usled padavina (radon wash-out peak). U sklopu projekta, razvijen je metod identifikacije lažnih pikova, mašinskim učenjem, bez potrebe za imanjem informacije o padavinama.

Diskusija i zaključak

U ovom radu su prikazani najvažniji rezultati traceRadon projekta. Značajan iskorak u istraživanju je učinjen sa ravojem emanacionog izvora radona koji se ponaša i kao detektor u isto vreme. Uspešno je razvijen metrološki lanac sledivosti za merenje niske koncentracije spoljašnjeg radona, kao i radonskog fluksa. Sve ovo ide u prilog dobijanju pouzdanih podataka za primenu RTM modela za praćenje fluksa gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Iako su modelovane mape radonskog fluksa postigle odličnu prostornu i vremensku rezoluciju, moguće ih je unaprediti ubacivanjem advektionog kretanja u model i pouzdanijeg modela vlažnosti zemljišta. Razvijeni sistemi za merenje fluksa će omogućiti sistematsko merenje fluksa koje je od krucijalne važnosti za validaciju modela.

Zahvalnica

This project has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the Europe'n Union's Horizon 2020 research and innovation programme. 19ENV01 traceRadon denotes the EMPIR project reference.

Istraživanje je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ev. br. 451-03-47/2023-01/200017).

Literatura

- [1] World Health Organization WHO handbook on indoor radon: a public health perspective, 2009
- [2] European Council Directive 2013/59/Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. OJ of the EU. L13; 57: 1–73 (2014).

-
- [3] G. Pantelić, I. Čeliković, M. Živanović, I. Vukanac, J.K. Nikolić, G. Cinelli, V. Gruber, Qualitative Overview of Indoor Radon Surveys in Europe, *J. Environ. Radioact.* Vol.204 2019, 163–174.
- [4] V. Gruber, S. Baumann, G. Wurm, W. Ringer, O. Alber, The New Austrian Indoor Radon Survey (ÖNRAP 2, 2013–2019): Design, Implementation, Results, *J. Environ. Radioact.* Vol.233 2021, 106618.
- [5] P. Bossew, Radon Priority Areas—Definition, Estimation and Uncertainty. *Nucl. Technol. Radiat. Prot.* Vol.33 2018, 286–292.
- [6] F.J. Maringer, H. Wiedner, M. Stietka, M. Final Publishable Summary for 16ENV10 MetroRADON Metrology for Radon Monitoring Final Publishable Summary for 16ENV10 MetroRADON Metrology for Radon Monitoring; 2021. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16260.86403>
- [7] Y. Kawada, H. Nagahama, Y. Omori, Y. Yasuoka, T. Ishikawa, S. Tokonami, M. Shinogi. Time-Scale Invariant Changes in Atmospheric Radon Concentration and Crustal Strain Prior to a Large Earthquake. *Nonlinear Process. Geophys.* Vol.14, 2007, 123–130.
- [8] G. Ciotoli, S. Lombardi, A. Annunziatellis. Geostatistical Analysis of Soil Gas Data in a High Seismic Intermontane Basin: Fucino Plain, Central Italy, *J. Geophys. Res. Solid Earth* Vol.112 2007, 112, 1–23.
- [9] C.Sainz, C.; Rábago, D.; Fuente, I.; Celaya, S.; Quindós, L.S. Description of the Behavior of an Aquifer by Using Continuous Radon Monitoring in a Thermal Spa. *Sci. Total Environ.* 2016, 543, 460–466.
- [10] S. Mollo, P. Tuccimei, G. Galli, G. Iezzi, P. Scarlato, The Imprint of Thermally Induced Devolatilization Phenomena on Radon Signal: Implications for the Geochemical Survey in Volcanic Areas, *Geophys. J. Int.* Vol.211 2017, 558–571.
- [11] I. Levin, U. Karstens, S. Hammer, J. DellaColetta, F. Maier, M. Gachkivskyi, Limitations of the radon tracer method (RTM) to estimate regional greenhouse gas (GHG) emissions—A case study for methane in Heidelberg, *Atmos. Chem. Phys.* Vol.21 2021, 17907–17926.
- [12] C. Grossi, F.R. Vogel, R. Curcoll, A. Àgueda, A. Vargas, X. Rodó, and J.-A. Morguí, Study of the daily and seasonal atmospheric CH₄ mixing ratio variability in a rural Spanish region using ²²²Rn tracer, *Atmos. Chem. Phys.*, Vol.18 2018, 5847–5860.
- [13] S.D. Chambers, F. Wang, A.G. Williams, D. Xiaodong, H. Zhang, G. Lonati, J. Crawford, A.D. Griffiths, A. Ianniello, I. Allegrini, Quantifying the Influences of Atmospheric Stability on Air Pollution in Lanzhou, China, Using a Radon-Based Stability, *Monitor. Atmos. Environ.* Vol.107 2015, 233–243.
- [14] A. Vinod Kumar, V. Sitaraman, R.B. Oza, T.M. Krishnamoorthy, Application of a Numerical Model for the Planetary Boundary Layer to the Vertical Distribution of Radon and Its Daughter Products, *Atmos. Environ.* Vol.33 1999, 4717–4726.
- [15] S. Biraud, P. Ciais, M. Ramonet, P. Simmonds, V. Kazan, P. Monfray, S. O’Doherty, T. Spain, S. Jennings, European Greenhouse Gas Emissions Estimated from Continuous Atmospheric Measurements and Radon ²²² at Mace Head, Ireland, *J. Geophys. Res.* Vol.105 2000, 1351–1366.

- [16] A. Röttger, S. Röttger, C. Grossi, A. Vargas, R. Curcoll, P. Otahal, M.Á. Hernández-Ceballos, G. Cinelli, S.D., Chambers, S.A., Barbosa, M. Ioan, I. Radulescu, D. Kikaj, E. Chung, T. Arnold, C. Yver-Kwok, M. Fuente, F. Mertes, and V. Morosh, New metrology for radon at the environmental level, *Measurement Science and Technology*, Vol. 32, No.12, 2021, 124008 ISSN 0957-0233
- [17] S. Röttger, A. Röttger, F. Mertes, V. Morosch, T. Ballé, S. Chambers, Evolution of traceable radon emanation sources from MBq to few Bq, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 196, 2023, 110726
- [18] F. Mertes, S. Röttger, A. Röttger, Development of ^{222}Rn Emanation Sources with Integrated Quasi 2π Active Monitoring. *Int. J. Environ. Res. Public Health* Vol.840 No.19, 2022, 840.
- [19] S.D. Chambers, V. Morosh, A.D. Griffiths, A.G. Williams, S. Röttger, A. Röttger, Field testing a portable two-filter dual-flow-loop ^{222}Rn detector. Virtual poster and vPICO presentation EGU General Assembly 2021 (Vienna Austria, 19–30 April 2021) EGU21–196 Session GI6.2, abstract ID
- [20] traceRadon, Newsletter, 2nd issue, November 2021
- [21] T. Szegvary, F. Conen, P. Ciais, European ^{222}Rn inventory for applied atmospheric studies, *Atmos Environ* Vol.43 No. 8, 2009, 1536-1539.
- [22] U. Karstens, C. Schwingshackl, D. Schmithüsen, I. Levin, A process-based ^{222}Rn flux map for Europe and its comparison to long-term observations, *Atmos. Chem. Phys.* Vol.15 2015, 12845–12865.
- [23] C. Grossi, D. Rabago, S. Chambers, C. Sáinz, R. Curcoll, P.P.S. Otáhal, E. Fialová, L. Quindos, A. Vargas, Characterizing the automatic radon flux transfer standard system Autoflux: laboratory calibration and field experiments *Atmos. Meas. Tech.* Vol. 16 No.10, 2023, 2655-2672
- [24] D. Rábago, L. Quindós, A. Vargas, C. Sainz, I. Radulescu, M.-R. Ioan, F. Cardellini, M. Capogni, A. Rizzo, S. Celaya, et al. Intercomparison of Radon Flux Monitors at Low and at High Radium Content Areas under Field Conditions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* Vol.19, 2022, 4213.
- [25] traceRadon, Newsletter, 3rd issue, September, 2022
- [26] M. Baldoncini et al., “Investigating the potentialities of Monte Carlo simulation for assessing soil water content via proximal gamma-ray spectroscopy,” *J Environ Radioact*, vol. 192, 2018, pp. 105–116
- [27] I.T. Celikovic, G. Pantelic, I. Vukanac, J.K. Nikolic, M. Zivanovic, G. Cinelli, V. Gruber, S. Baumann, L. Quindos, D. Rabago, Outdoor radon as a tool to estimate radon priority areas – A literature overview, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19 No.2, 2022, 662
- [28] I. Čeliković G. Pantelić I. Vukanac JK. Nikolić M. Živanović G. Cinelli V: Gruber S. Baumann G. Ciotoli LSQ. Poncela D. Rabago, Overview of Radon Flux Characteristics, Measurements, Models and Its Potential Use for the Estimation of Radon Priority Areas. *Atmosphere*. Vol.13 No.12, 2022, 2005.

TRACERADON PROJECT – AN OVERVIEW OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS

Igor ČELIKOVIĆ¹, Ivana VUKANAC¹, Gordana PANTELIĆ¹, Miloš ŽIVANOVIĆ¹,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ¹

- 1) *"Vinča" Institute of Nuclear Sciences, Institute of National Importance for the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

ABSTRACT

Since more than a half of the effective doses from all ionising radiation come from the exposure to radon and its progeny, radon is important in the field of radiation protection. Being a noble gas and therefore chemically inert, radon is also used as a tracer for different geological and atmospheric processes. Radon is of interest to climate scientists for monitoring greenhouse gasses (GHG). It is known that by knowing radon flux and variation of radon and GHG concentration at the same period of time during the night, it is possible to estimate emission of GHG.

In this paper, the most important results of recently finished EMPIR project 19ENV01 traceRadon "Radon metrology for use in climate change observation and radiation protection at the environmental level" are presented. Project aimed to develop the capability to measure SI traceable radon activity in the range of 1 Bq m⁻³ to 100 Bq m⁻³, suitable for outdoor radon measurements, to develop the capability for traceable radon flux measurements in the field which is important for GHG emission estimates and validation of contemporary radon flux models. Within the project it was investigated to what extent radon flux and outdoor radon data could be used for estimation of radon priority areas.

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 RADIONUKLIDA 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 SNOPI 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 EKRAKOM.....	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 KRVU	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 KRVU 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 PRIRODNIM 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