



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

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

Ivana VUKAŠINOVIĆ¹, Dragana TODOROVIĆ², Jelena KRNETA NIKOLIĆ³,
Milica RAJAČIĆ², Marija JANKOVIĆ², Nataša SARAP², Julija ŠČEKIĆ¹

- 1) *Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Katedra za matematiku i fiziku, Nemanjina 6, Zemun-Beograd*
- 2) *Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za Zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd*

Autor za korespondenciju: Ivana VUKAŠINOVIĆ, ivanavu@agrif.bg.ac.rs

SAŽETAK

Jedan od značajnih načina kontrole rada termoelektrana (TE) na ugalj je kontinuirano praćenje vrednosti koncentracija aktivnosti radionuklida prirodnog porekla sadržanih prvenstveno u uglju, a potom i uzorcima pepela i šljake kao glavnim produktima sagorevanja uglja koje je zbog svoje obilne proizvodnje neophodno odlagati na deponije otpada. Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida ²³⁸U, ²³⁵U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²³²Th i ⁴⁰K, koje bi u životnoj sredini potencijalno mogle biti preraspodeljene kao posledica rada TE, podležu redovnoj kontroli u uzorcima uglja, šljake, elektrofilterskog pepela, kao i u uzorcima sakupljenim sa deponija pepela, na aktivnoj i pasivnoj kaseti, i zemljištu uzorkovanom na manjoj i većoj udaljenosti od TE. Predmet ovoga rada je analiza rezultata višegodišnjih merenja obavljenih u periodu od 2010. do 2022. godine. Godišnje vrednosti koncentracija aktivnosti izmerene za svaki ispitivani radionuklid i svaku od sedam vrsta uzoraka posmatrane su kao hronološki nizovi podataka koji čine diskretne vremenske serije za koje su rezultati statističke analize ukazivali da se mogu opisati kao procesi tzv. belog šuma.

Uvod

Ugalj, kao i ostali prirodni materijali, sadrži tragove primordijalnih terestrijalnih radionuklida: začetnika radioaktivnih nizova (²³⁸U, ²³⁵U i ²³²Th), njihovih produkata raspada, kao i kalijumov radioizotop ⁴⁰K, u različitim udelima u zavisnosti od geološkog porekla uglja. Ugalj se sastoji od tečne, gasovite i čvrste faze, dok matriks čvrste faze može biti organskog (huminske kiseline) i neorganskog porekla (alumosilikatni minerali). Uranijum i njegovi produkti radioaktivnog raspada vezani su za matriks organskog porekla, dok su torijum i njegovi produkti zajedno sa kalijumom vezani za matriks pepela tj. neorgansku komponentu uglja. U cilju proizvodnje električne energije ugalj sagoreva u kotlu termoelektrana kada se prirodni radionuklidi oslobađaju iz originalne matrice uglja i distribuiraju između gasovite i čvrste faze sporednih produkata sagorevanja. Gasovita faza sadrži isparljive nuklide (Rn, Pb, Po), dok manje isparljivi ili potpuno neisparljivi nuklidi (U, Ra, Th, K) ostaju zarobljeni i koncentrisani u pepelu i šljaci ili bivaju kondenzovani na česticama letećeg pepela [1–3]. Šljaka ili teža frakcija pepela (15–20) % pada na dno kotla, a lakša frakcija tzv. leteći pepeo (80–85) % kreće se naviše zajedno sa vrelinim dimnim gasovima i biva zaustavljena elektrofilterskim precipitatorima pri čemu se neznatna količina obično oslobodi iz dimnjaka u atmosferu (~1 %). Nakon eliminacije organske komponente uglja, pepeo se višestruko obogaćuje prirodnim radionuklidima što zavisi od vrste i načina sagorevanja uglja [2]. Pepeo, u kome su sadržani prirodni radionuklidi raspodeljeni između čestica dimenzija od nekoliko milimetra (šljaka) do 100–ih delova milimetra (leteći pepeo),

neophodno je odlagati na deponije pepela kao čvrsti otpad. Međutim, sa velikih površina deponija delovanjem vetra, putem atmosferskih padavina ili ispiranjem, čestice pepela se mogu redistribuirati i potencijalno nagomilavati u različitim kompartmanima životne sredine [3]. Prema tome, prirodni radionuklidi dospeli u životnu sredinu u gasnoj ili čestičnoj formi mogu uticati na povećanje prirodne radioaktivnosti iznad prirodnog fona [2-4].

Kontrola radioaktivnosti izdvaja se kao jedna od značajnih mera praćenja kvaliteta životne sredine i izvodi se tako što se u okviru zakonskih propisa uzorci prikupljaju i analiziraju jednom u toku godine. Vrednosti koncentracija aktivnosti radionuklida prirodnog porekla ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K prate se u uzorcima uglja, šljake i letećeg pepela iz samog procesa proizvodnje [5], kao i u uzorcima sakupljenim u široj okolini TE na deponiji pepela i okolnom zemljištu. Deo programa kontrole radioaktivnosti u životnoj sredini koji se odnosi na spektrometriju gama emitera u uzorcima iz životne sredine tema je ovoga rada. Na osnovu višegodišnjih rezultata merenja analizirane su promene koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u funkciji vremena u periodu 2010-2022. godine i ispitano da li se među izmerenim koncentracijama aktivnosti različitih vrsta uzoraka uspostavljaju značajne relacije.

Materijali i metode

Ispitivano je sedam vrsta uzoraka: uglj (UG), šljaka (ŠLJ), elektrofilterski pepeo (EFP), zatim pepeo sakupljen sa deponije aktivne (AKP) i pasivne kasete (PKP), kao i zemljište uzorkovano bliže (ZB) i dalje (ZD) od TE (po analogiji sa obradivim i neobradivim zemljištem). Svi uzorci sakupljeni su jednom godišnje u periodu od 2010. do 2022. godine. Uzorkovanje uglja vršeno je pre procesa mlevenja i sušenja uglja u mlinu, šljaka je uzorkovana tokom transporta ispod kotla, dok je leteći pepeo uzorkovan u piramidalnim rezervoarima elektrofiltera [5]. Uzorci pepela sakupljeni su sa nasipa deponija aktivne i pasivne kasete, a mesta uzorkovanja zemljišta su bila raspoređena tako da budu na manjoj (0-2) km i većoj (2-6) km udaljenosti od TE. Uzorci zemljišta i pepela sa deponije uzimani su iz površinskih slojeva dubine 0 cm–10 cm pri čemu je na datoj lokaciji formiran po jedan zbirni uzorak mase 1-1,5 kg.

Uzorci uglja, šljake, pepela i zemljišta pripremljeni su za analizu (mleveni, sušeni, prosejani i izvagani) odgovarajućim standardnim metodama u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke „Vinča“. Pripremljeni uzorci pakovani su u plastične sudove u cilindričnoj ili Marineli geometriji radi gamaspektrometrijske analize. Uzorci su zatopljeni pčelinjim voskom i ostavljeni 4 do 6 nedelja radi dostizanja sekularane radioaktivne ravnoteže u prirodnim radioaktivnim nizovima. Merenja su vršena koaksijalnim poluprovodničkim HPGe detektorima (Canberra Industries, Inc., Meriden, CT, USA) relativne efikasnosti 18 %, 20 % i 50 % i energetsom rezolucijom svakog od detektora od 1,8 keV na 1332 keV energiji gama zraka ^{60}Co . Za kalibraciju efikasnosti HPGe detektora korišćeni su sertifikovani standardi i referentni radioaktivni materijali, a počev od 2012. korišćeni su sekundarni referentni materijali različitog matriksa izrađeni od sertifikovanog radioaktivnog standarda u tečnom stanju 9031-OL-427/12, ERX (Češki Metrološki Institut) koji je sadržao radionuklide ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{203}Hg , ^{88}Y , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs i ^{210}Pb ukupne aktivnosti 72,4 kBq na dan 31.08.2012. Pri merenju uzorci se postavljaju direktno na detektor, koaksijalno sa detektorskim kristalom osim u slučaju detektora efikasnosti 18 % kod koga se uzorak postavlja na nosač da bi se berilijumski prozor detektora zaštitio. Merenje je vršeno u trajanju od 60000 s do 234000 s. Spektar fona je sniman neposredno pre ili posle snimanja spektra standarda. Spektri su analizirani korišćenjem softverskog paketa GENIE 2000 (Canberra).

Za određivanje koncentracija aktivnosti ^{238}U korišćene su linije potomaka u radioaktivnoj ravnoteži energije 63,3 keV (^{234}Th) i 1001,01 keV ($^{234\text{m}}\text{Pa}$). Koncentracija aktivnosti ^{226}Ra određena je kao prosečna vrednost na osnovu intenziteta linija 295,2 keV i 351,9 keV (iz raspada ^{214}Pb) i 609,3 keV, 1120,3 keV i 1764,5 keV (iz raspada ^{214}Bi). Koncentracija aktivnosti ^{235}U određena je na osnovu linije energije 185,72 keV koja je korigovana za doprinos koji potiče od ^{226}Ra na energiji 186,21 keV. Za koncentraciju aktivnosti ^{232}Th korišćene su linije gama-zraka 338,42 keV i 911,16 keV (iz raspada ^{228}Ac). Koncentracija aktivnosti ^{40}K određena je analizom fotopika na energiji 1460,83 keV, a ^{210}Pb analizom fotopika na energiji 46,54 keV. Rezultati merenja koncentracija aktivnosti predstavljeni su sa kombinovanom mernom nesigurnošću koja je izražena kao proširena merna nesigurnost za faktor $k=2$ koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od 95 %.

Da bi se ispitala distribucija grupa podataka sastavljenih od n izmerenih vrednosti koncentracija aktivnosti ispitivanih radionuklida za svaku vrstu uzorka izvršeno je testiranje kojim se ocenjuje da li posmatrani podaci potiču iz normalne raspodele koristeći Shapiro–Wilk-ov test. Da bi se opisali skupovi n elemenata korišćeni su osnovni numerički statistički parametri: srednja vrednost tj. aritmetička sredina, medijana, minimalna i maksimalna vrednost i pokazatelji disperzije: standardna devijacija (σ), koeficijent varijacije (C_{var}) i koeficijenti asimetričnosti i spljoštenosti kao mere odstupanja od “zvonaste” normalne raspodele. Detektovane su i netipične vrednosti tj. autlajeri (eng. outliers) kao opservacije koje ne potiču iz iste distribucije kao ostatak uzorka.

Diskretna vremenska serija je skup hronološki poređanih podataka koja može biti sastavljena od pojedinačnih merenja (očitanja) u određenim vremenskim trenucima kao što je jednom godišnje. Tako je skup vrednosti koncentracija aktivnosti datog radionuklida izmerenih jednom godišnje u periodu od 2010. do 2022. u datoj vrsti uzorka posmatran kao diskretna vremenska serija. S obzirom da uzorkovanje nije izvršeno 2020. godine, za šest ispitivanih prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K detektovanih u svakoj od sedam vrsta uzoraka (UG, ŠLJ, EFP, AKP, PKP, ZB, ZD) broj sakupljenih podataka n bio je najviše 12 osim kada su neke vrednosti koncentracija aktivnosti iz 2011. i 2017. godine izostale iz tehničkih razloga. Koncentracije aktivnosti ^{210}Pb određene su u manjem broju uzoraka jer je njegova vrednost često bila ispod minimalne detektabilne koncentracije aktivnosti (MDC) usled merenja na detektoru manje efikasnosti na nižim energijama.

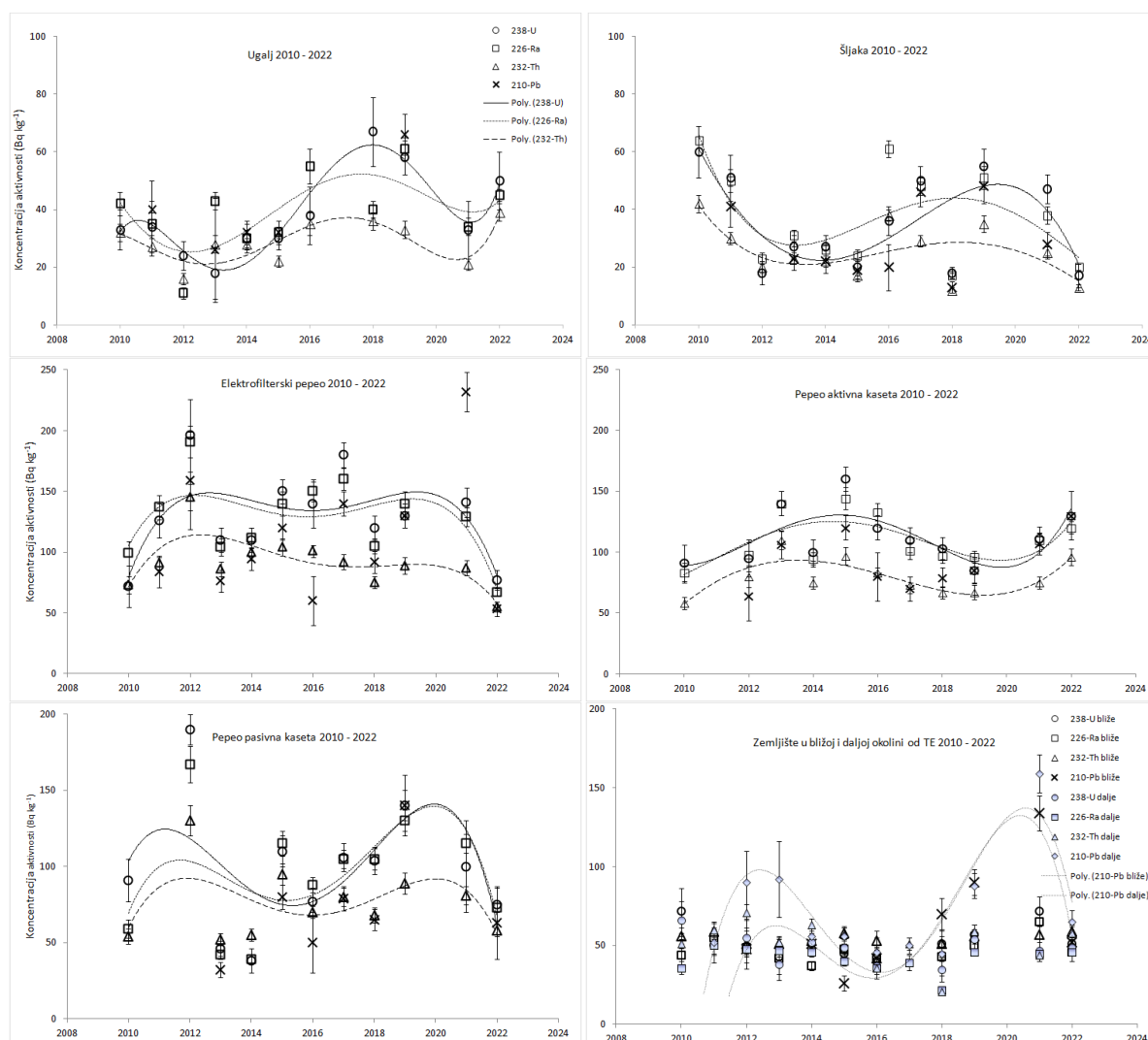
Da bi se pojedinačne serije analizirale korišćen je programski jezik R verzija 4.2.3 i postupak je bio sledeći: a) priključena je vrednost koja nedostaje u datom nizu podataka koja je određena intepolacijom na osnovu dve prethodne i dve naredne poznate vrednosti, b) ispitana je hipoteza slučajnosti i prihvatanje ove hipoteze na nivou poverenja 95 % označavalo je da podaci imaju proizvoljan poredak u vremenu, c) računati su autokorelacioni koeficijenti kojima se testira da li postoje značajne korelacije između elemenata iste serije koji su međusobno odvojeni k vremenskih perioda – koraka (eng. lag), d) računati su koeficijenti kroskorelacije kojima se testira da li postoje korelacione veze između elemenata dve serije odvojenim k vremenskih koraka ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$). Vrednost određena na osnovu broja podataka (n) i broja koraka (k): $|\alpha| \geq 2/\sqrt{n - |k|}$ korišćena je za određivanje značajnosti koeficijenta kroskorelacije na nivou 95 % intervala poverenja. Za broj podataka $n = 13$ izračunate su vrednosti: $\alpha = 0,555$ za $k = 0$; $\alpha = 0,577$ za $k = \pm 1$; $\alpha = 0,603$ za $k = \pm 2$; $\alpha = 0,630$ za $k = \pm 3$; $\alpha = 0,667$ za $k = \pm 4$. Značajna kroskorelacija u slučaju pozitivnih koraka ($k = +1, +2, \dots$) označava da prva serija „prednjači“, a u slučaju negativnih ($k = -1, -2, \dots$) da prva serija „zaostaje“ u odnosu na drugu sa vremenskim kašnjenjem od k perioda [6].

Tabela 2: Deskriptivna statistika vrednosti rezultata merenja koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u periodu 2010 – 2022. godine

	A [Bq/kg]	Aritm. sred.	Med.	Min.	Max.	σ	C_{var} (%)	Koef. asimetr.	Koef. spoljoš.	Autl.	<i>n</i>
UG	²³⁸ U	37,7	33	18	67	14,7	39,1	1,229	0,123	–	11
	²³⁵ U	2,1	2	1,1	3,1	0,6	28,9	0,272	-0,314	–	11
	²²⁶ Ra	38,9	40	11	61	13,3	34,1	-0,546	0,891	–	11
	²¹⁰ Pb	39,2	32	26	66	15,8	40,3	1,570	1,420	–	5
	²³² Th	28,6	28	14	39	7,4	26,0	-0,801	-0,063	–	11
	⁴⁰ K	143,2	146	60	250	55,2	38,5	0,220	0,230	–	11
ŠLJ	²³⁸ U	35,5	31,5	17	60	16,2	45,8	0,303	-1,257	–	12
	²³⁵ U	1,7	1,6	0,7	3,3	0,8	46,7	0,879	-0,140	–	12
	²²⁶ Ra	37,8	34,5	17	64	16,5	43,7	0,468	-1,019	–	12
	²¹⁰ Pb	28,9	23	13	48	12,8	44,4	0,704	-0,840	–	9
	²³² Th	25,5	24	12	42	9,6	37,6	0,382	-0,594	–	12
	⁴⁰ K	197,9	197	110	260	47,5	24,0	-0,447	-0,668	–	12
EFP	²³⁸ U	129,3	128	72	196	36,4	28,1	0,291	0,019	–	12
	²³⁵ U	6,9	7,0	4	11	1,8	26,4	1,021	0,949	–	12
	²²⁶ Ra	127,8	133	67	191	32,7	25,6	0,097	0,294	–	12
	²¹⁰ Pb	112,7	94	53	232	51,7	45,9	1,640	1,180	–	11
	²³² Th	91,5	90	55	145	21,7	23,7	1,460	2,260	145	11
	⁴⁰ K	435,3	426,5	311	570	83,7	19,2	0,258	-0,849	–	12
AKP	²³⁸ U	113,2	110	85	160	22,7	20,0	1,194	0,187	–	11
	²³⁵ U	5,9	5,8	3,5	8,4	1,2	21,1	0,367	1,180	–	11
	²²⁶ Ra	110,5	101	83	144	20,6	18,7	0,779	-0,746	–	11
	²¹⁰ Pb	93,4	85	64	130	23,1	24,7	0,442	-0,788	–	9
	²³² Th	80,1	75	58	110	15,4	19,2	0,893	-0,077	–	11
	⁴⁰ K	397,6	380	300	580	76,0	19,1	2,134	1,950	580	11
PKP	²³⁸ U	97,9	100	38	190	42,2	43,1	1,060	0,929	–	11
	²³⁵ U	4,9	4,6	2,5	9,1	2,1	42,4	1,074	0,078	–	11
	²²⁶ Ra	94,4	105	39	167	39,0	41,3	0,227	-0,207	–	11
	²¹⁰ Pb	96,1	72	32	260	73,3	76,3	2,258	2,300	260	8
	²³² Th	75,6	70	52	130	23,3	30,8	1,740	1,300	–	11
	⁴⁰ K	462,5	420	370	610	91,7	19,8	1,000	-0,879	–	11
ZB	²³⁸ U	52,8	51	40	72	10,5	19,9	1,499	0,330	72	11
	²³⁵ U	2,9	2,7	2,1	4,7	0,8	26,6	1,815	1,180	–	11
	²²⁶ Ra	47,4	46	37	65	7,6	16,0	1,667	1,432	–	11
	²¹⁰ Pb	64,1	51,5	26	134	34,0	53,1	1,585	1,118	–	8
	²³² Th	55,0	56	51	59	3,2	5,8	-0,074	-1,180	–	11
	⁴⁰ K	544,0	550	430	680	71,4	13,1	0,169	0,357	–	11
ZD	²³⁸ U	47,7	49	35	66	9,1	19,0	0,440	-0,047	–	12
	²³⁵ U	2,7	2,8	1,4	4,0	0,8	29,1	-0,199	-0,575	–	12
	²²⁶ Ra	41,8	45,5	22	50	7,8	18,6	-2,257	2,081	22	12
	²¹⁰ Pb	72,6	56	45	159	33,8	46,5	2,254	2,686	159	11
	²³² Th	52,0	54,5	21	71	13,3	25,6	-1,617	1,230	–	12
	⁴⁰ K	543,7	545	230	790	125,4	23,1	-1,194	3,202	230	12

Rezultati

Vrednosti deskriptivnih statističkih parametara koncentracija aktivnosti ispitivanih prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K prikazani su u Tabeli 1. Intervali i srednje vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima uglja i pepela nisu se razlikovale od tipičnih vrednosti navedenih u publikaciji IAEA [1], a aktivnosti određene u uzorcima zemljišta pripadale su oblasti prosečnog nivoa gama zračenja koje potiče iz zemljišta na osnovu podataka UNSCEAR (2010) [4]. Srednje vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida bile su poredane u rastućem nizu: šljaka < uglj < zemljište dalje \approx zemljište bliže < pepeo pasivne kasete < pepeo aktivne kasete < elektrofilterski pepeo što se i očekuje kao posledica sagorevanja uglja u termoelektranama. Za radionuklid ^{40}K srednje vrednosti su bile poredane u drugačijem nizu: uglj < šljaka < pepeo < zemljište jer su površinski slojevi zemljišta pokriveni vegetacijom obogaćeni kalijumom, a time i njegovim radioizotopom. Prema Šapiro-Vilkovom testu normalnosti raspodele sve grupe podataka pokazale su normalnu distribuciju, osim log-normalne za grupu podatka ^{210}Pb u zemljištu dalje od TE.



Slika 1: Koncentracija aktivnosti (Bq/kg) ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb i ^{232}Th u ispitivanim uzorcima u periodu od 2010–2022. godine. Da bi se uočila promena provučen je polinom 4. reda kao što pokazuje legenda.

Godišnje vrednosti koncentracija aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{210}Pb u uzorcima uglja, šljake i pepela su zajedno sa svojom mernim nesigurnostima predstavljene na Slici 1. pri čemu su radi ilustracije kroz karakteristične nizove tačaka provučeni polinomi 4. reda da bi se uočila promena aktivnosti tokom vremena (2010-2022). Na osnovu dovoljnog broja rezultata merenja promena ^{210}Pb je ilustrovana polinomom 4. reda samo u uzorcima zemljišta u bližoj i daljoj okolini TE. U zemljištu su prilično ujednačene koncentracije aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th ukupno varirale 6 %-26 % tokom vremena za razliku od ^{210}Pb čije varijacije su se kretale u rasponu 29 %-53 % (Tabela 1, Slika 1). Primećeno je da su vrednosti mernih nesigurnosti koje su iznosile 4 %-11 % za ^{226}Ra i ^{232}Th , 5 %-12 % za ^{40}K , 6 %-30 % za ^{238}U i ^{235}U i 4 %-40 % za ^{210}Pb najčešće bile manje od dobijenih koeficijenata varijacije (%) za pojedinačne radionuklide u datom uzorku (Tabela 1).

Diskusija i zaključak

Na Slici 1. može se primetiti da vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u svim vrstama uzoraka izgledaju kao da tokom vremena imaju slučajna odstupanja od neke konstantne vrednosti zbog čega je pretpostavljeno da se svaki pojedinačni skup podataka za dati radionuklid mogao posmatrati kao jedna realizacija stohastičkog procesa. Da bi se ovaj proces ispitao, skupovi godišnjih vrednosti koncentracija aktivnosti posmatrane su kao diskretne vremenske serije. Rezultati statističke analize pokazali su da se većina serija na nivou značajnosti 95 % mogla opisati kao potpuno slučajni proces odnosno proces belog šuma (nezavisne slučajne promenljive nulte srednje vrednosti i konstantne varijanse). Na istom nivou značajnosti, nekoliko serija je pokazalo da su njihove vrednosti u različitim vremenskim trenucima bile u korelaciji, konkretno određena je značajna autokorelacija u vremenskom pomaku od jedne godine (Lag 1) u nizovima: ^{238}U i ^{235}U u uglju; ^{40}K u pepelu pasivne kasete i ^{238}U i ^{235}U u zemljištu bliže TE.

U Tabeli 2. prikazani su rezultati testa kroskorelacija između vremenskih serija istog radionuklida u različitim uzorcima. Na osnovu vrednosti kroskorelacionih koeficijenata može se primetiti da se porast koncentracija aktivnosti u uglju odražavao sa vremenskim otklonom na vrednosti u zemljištu bliže TE u slučaju ^{238}U (Lag 2, Lag 3) i zemljištu dalje od TE za ^{226}Ra (Lag -1) i ^{210}Pb (Lag -1), a značajne pozitivne korelacije određene su i između koncentracija aktivnosti elektrofilterskog pepela i pepela pasivne kasete bez vremenskog kašnjenja (Lag 0) za ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K . Negativne korelacije između koncentracija aktivnosti u pepelu aktivne i pepelu pasivne kasete određene su sa vremenskim otklonom za ^{238}U (Lag 1), ^{226}Ra (Lag -1) i ^{232}Th (Lag 1). Vrednosti koncentracija aktivnosti u zemljištu bliže TE sa vrednostima u zemljištu dalje od TE bile su pozitivno povezane za ^{238}U (Lag 0), ^{210}Pb (Lag 0) i ^{40}K (Lag 3). U slučaju ^{232}Th , korelacije su određene samo između njegovih koncentracija aktivnosti u uglju i pepelu (Tabela 2), a nikakve korelacije nisu uspostavljene sa vrednostima koncentracija aktivnosti u zemljištu što bi moglo da ukazuje da ponašanje ^{232}Th u zemljištu uopšte nije pod uticajem rada TE. Na osnovu prethodnih rezultata može se zaključiti da se promene koncentracija aktivnosti u uglju, šljaci i pepelu iz samog procesa proizvodnje potencijalno odražavaju na koncentracije aktivnosti u pepelu deponija i zemljištu u okolini TE istovremeno ili sa vremenskim kašnjenjem. S obzirom da su se ispitivane vremenske serije mogle predstaviti procesima belog šuma čime je ispunjen uslov slabe stacionarnosti (tj. invarijantnosti na pomeranja u vremenu), u sledećem koraku će biti moguće izvršiti (barem kratkoročno) prognoziranje vrednosti koncentracija aktivnosti ispitivanih radionuklida [6].

Tabela 2: Koeficijenti kroskorelacije između koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u ispitivanim uzorcima

Uzorak	UG	ŠLJ	EFP	AKP	PKP	ZB	ZD
⁴⁰ K	ŠLJ					Lag -1 (+0,722)	
	EFP		Lag 0 (+0,568)			Lag 0 (+0,662) Lag 1 (+0,737)	
	AKP	Lag 0 (+0,631)					
	PKP		Lag -1 (+0,604) Lag 0 (+0,675) Lag 1 (+0,745)			Lag -1 (+0,557) Lag 0 (+0,556)	
	ZB						Lag 3 (+0,627)
²³⁸ U	UG					Lag 2 (+0,715) Lag 3 (+0,699)	Lag 1 (-0,618)
	ŠLJ			Lag 0 (-0,581)		Lag 0 (+0,598)	
	AKP				Lag 1 (-0,567)		
	ZB						Lag 0 (+0,627)
²²⁶ Ra	UG			Lag 1 (-0,613)			Lag -1 (+0,643)
	ŠLJ	Lag 0 (+0,556)					
	PKP		Lag 0 (+0,680)	Lag -1 (-0,608)		Lag 0 (+0,612)	
	ZD					Lag 3 (-0,651)	
²¹⁰ Pb	UG		Lag -1 (+0,701)			Lag -1 (+0,908)	Lag -1 (+0,749)
	ŠLJ		Lag 0 (+0,567)				
	EFP				Lag 0 (+0,680)	Lag 0 (+0,768)	
	ZD		Lag 0 (+0,828)	Lag 1 (+0,700)		Lag 0 (+0,867)	
²³² Th	UG			Lag 1 (-0,706)			
	EFP	Lag 0 (-0,731)		Lag 1 (+0,606)	Lag 0 (+0,636)		
	AKP				Lag 1 (-0,619)		

Zahvalnica

Rezultat istraživanja je nastao u okviru ugovora o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2023. godini između Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu (ugovor br. 451-03-47/2023-01/200116) i Instituta za nuklearne nauke “Vinča” Univerzitetu u Beogradu (ugovor br. 451-03-47/2023-01/200017).

Literatura

- [1] Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation Method for Determining Gamma Emitters, IAEA Technical Reports Series No. 419, Vienna, 2003.
- [2] J. Temuujin, E. Surenjav, C.H. Ruescher, J. Vahlbruch. Processing and uses of fly ash addressing radioactivity (critical review), *Chemosphere* Vol.216, 2019, 866–882, ISSN: 0045-6535.
- [3] Z. Wang, R.M. Coyte, E.A. Cowan, H.M. Stapleton, G.S. Dwyer, A. Vengosh. Evaluation and Integration of Geochemical Indicators for Detecting Trace Levels of Coal Fly Ash in Soils, *Environ. Sci. Technol.* Vol.55 No.15, 10387–10397 ISSN: 0013-936X.
- [4] 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.
- [5] A. Kandić, B. Šešlak, M. Đurašević, I. Vukanac, M. Erić, Z. Milošević, Z. Marković. Radiological analysis of coal, slag and fly-ash from “Nikola Tesla” and „Kolubara power“ plants, *Proceedings of International Conference on Power Plants*, 28–31. October 2014, Zlatibor, Serbia, 168-175.
- [6] Z.J. Kovačić. *Analiza vremenskih serija*, Ekonomski fakultet, Beograd, 1995.

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.

Ivana VUKAŠINOVIĆ¹, Dragana TODOROVIĆ², Jelena KRNETA NIKOLIĆ³,
Milica RAJAČIĆ², Marija JANKOVIĆ², Nataša SARAP², Julija ŠČEKIĆ¹

- 1) *Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Department of Mathematics and Physics, Nemanjina 6, Zemun-Beograd*
- 2) *“Vinča” Institute of Nuclear Sciences, Institute of National Importance for the Republic of Serbia, University of Belgrade, Radiation and Environmental Protection Department, Mike Petrovića Alasa 12-14, Belgrade*

ABSTRACT

One of the most important means of controlling the operation of coal-fired power plant (CFPP) is the continuous monitoring of naturally occurring activity concentrations of radionuclides contained primarily in coal and, consequently, in ash and slag samples, the main coal combustion products that must be disposed of in landfills due to their high production. The activity concentrations of the naturally occurring radionuclides ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , and ^{40}K , which could potentially be released into the environment as a result of the CFPP operation, are regularly monitored in the samples of coal, slag, and fly ash, as well as in the samples of ash piles on the active and passive cassettes and in the soil sampled at lesser and greater distances from the CFPP. The aim of this work is to analyse the results of the multi-year activity concentration measurements carried out in the period from 2010 to 2022. The annual activity concentration values measured for each studied radionuclide and each of the seven sample types were observed as a chronological sequence of data forming discrete time series, which, according to the results of statistical analysis, may be described as white noise processes.

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 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 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