



MD



9. MEMORIJALNI NAUČNI SKUP IZ ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE  
„**DOCENT DR MILENA DALMACIJA**“  
31.03. - 01.04.2022.

# KNJIGA RADOVA



## KNJIGA RADOVA

IZDAVAČ  
GLAVNI UREDNIK

9. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine  
„Docent dr Milena Dalmacija“  
Prirodno-matematički fakultet, UNS  
dr Anita Leovac Maćerak, dr Đurđa Kerkez,  
dr Dragana Tomašević Pilipović

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Biblioteke Matice srpske, Novi Sad

502.17(082)

**MEMORIЈАЛНИ naučni skup iz zaštite životne sredine "Доцент др Милена Далмација" (9 ; 2022 ; Нови Сад)**

Knjiga radova [Elektronski izvor] / 9. memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", 31.03. - 01.04.2022, Novi Sad ; [glavni urednik Anita Leovac Maćerak, Đurđa Kerkez, Dragana Tomašević Pilipović]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, 2022. - 1 elektronski optički disk (CD ROM) ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7031-604-1

a) Животна средина - Заштита - Зборници

COBISS.SR-ID 62984969

## PRIRODNA RADIOAKTIVNOST U SEDIMENTU REKE DUNAV

Milica Rajačić, Dragana Todorović, Ivana Vukanac, Jelena Krneta Nikolić, Marija Janković, Nataša Sarap

*Institut za nuklearne nauke Vinča, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11000 Beograd, [milica100@vinca.rs](mailto:milica100@vinca.rs)*

### Izvod

Metodom gamaspektrometrije u periodu 2020-2021. godina praćena je koncentracija aktivnosti radionuklida u površinskoj vodi i rečnom sedimentu reke Dunav, na teritoriji beogradske opštine Zemun. U ovom radu su prikazane vrednosti izmerenih koncentracija aktivnosti detektovanih radionuklida. Dok se u uzorcima površinske vode praktično detektuje samo prisustvo  $^{40}\text{K}$  i  $^{226}\text{Ra}$  u koncentracijama reda nekoliko desetina mBq/l, u uzorcima sedimenta detektovani su prirodni radionuklidi u navedenim opsezima koncentracija :  $^{226}\text{Ra}$  - (14-46) Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  - (17-56) Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  - (230-645) Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  - (15-53) Bq/kg i  $^{235}\text{U}$  - (1,2-3,2) Bq/kg.

**Ključne reči:** radioaktivnost; sediment; Dunav

### Uvod

Jedna od prirodnih komponenti radioaktivnosti su radioaktivni izotopi primordijalnog porekla - nestabilni izotopi koji su ušli u sastav Zemlje prilikom njenog formiranja. Zbog geološke starosti Zemlje od oko  $4,5 \cdot 10^9$  godina, veći deo ovih elemenata više nije prisutan u životnoj sredini. Međutim, izotopi sa vremenima poluraspada većim od  $0,5 \cdot 10^9$  godina (što je 1/10 starosti Zemlje) još uvek se nalaze u Zemljinoj kori i imaju značajan doprinos u ukupnoj radioaktivnosti životne sredine. Najznačajniji među njima su:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{235}\text{U}$ , čija su vremena poluraspada prikazana u tabeli 1.

*Tabela 1. Radionuklidi primordijalnog porekla i njihova vremena poluraspada [1]*

Radionuklid	Vreme poluraspada, $T_{1/2}$ (godina)
$^{40}\text{K}$	$1,25 \cdot 10^9$
$^{238}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$
$^{232}\text{Th}$	$14,02 \cdot 10^9$
$^{235}\text{U}$	$0,704 \cdot 10^9$

Dok se  $^{40}\text{K}$  raspada na stabilne elemente ( $^{40}\text{Ca}$  i  $^{40}\text{Ar}$ ), potomci  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{235}\text{U}$  su takođe nestabilni izotopi, što za posledicu ima formiranje čitavih nizova drugih radioaktivnih elemenata do formiranja poslednjeg (stabilnog) elementa. Ovi nizovi (uranijumov, torijumov i aktinijumov) se nazivaju prirodnim radioaktivnim nizovima.

Prilikom raspada  $^{238}\text{U}$  (koji je u Zemljinoj kori prisutan u značajnoj količini) stvara se radioaktivni izotop radijuma ( $^{226}\text{Ra}$ ), čiji je jedan od potomaka takođe radioaktivni izotop radona ( $^{222}\text{Rn}$ ) koji se u prirodi nalazi u gasovitom stanju što mu omogućava emanaciju iz Zemljine kore u atmosferu i vodotokove, a samim tim i mogućnost njegove ingestije i inhalacije. Zbog toga se  $^{226}\text{Ra}$  izdvaja kao jedan od značajnijih prirodnih radionuklida sa stanovišta radiokologije.

Površinskom erozijom zemljišta i njegovim akumuliranjem na dnu rečnog korita (sediment) gotovo sve materije koje se nalaze u zemljištu oko rečnog toka mogu dospeti u vodeni tok i dalje prenositi i na druge delove rečnog toka. Usled različitog sastava zemljišta kroz koji reka prolazi, razlikovaće se i nivo koncentracije prirodnih radionuklida u rečnom toku. Nivo koncentracije prirodnih radionuklida može biti promenjen usled tretiranja zemljišta mineralnim đubrivima ili nebezbednim odlaganjem materijala sa povišenom koncentracijom radioaktivnih izotopa.

Zbog svega navedenog i toga što se duž dunavskog toka (zajedno sa njegovim pritokama) nalaze velike površine obradivog zemljišta i mnoga industrijska postrojenja, monitoring koncentracije aktivnosti radionuklida u Dunavu ima veliki značaj za čitav ekosistem u njegovoj okolini. U ovom radu je dat prikaz izmerenih koncentracija aktivnosti detektovanih radionuklida u rečnom sedimentu reke Dunav.

### **Eksperimentalni deo**

Uzorkovanje sedimenta iz reke Dunav vršeno je kvartalno na teritoriji beogradske opštine Zemun. Priprema uzoraka urađena je u skladu sa međunarodnim preporukama [2]. Pre samog merenja uzorci se ocede od vode, očistite od biljnog materijala i otpada koji se u njima mogu naći, zatim se suše na  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , prosejaju kroz sito i odmeravaju u geometrije merenja - Marineli posude.

Sva merenja sadržaja gama emitera su obavljena po metodi [2] na poluprovodničkim HPGe detektorima relativnih efikasnosti 18 %, 20 % i 50 % u trajanju od 60000 s. Energetska i kalibracija efikasnosti urađena je pomoću sertifikovanog radioaktivnog standarda, u matriksu silikonske smole, Češkog metrološkog instituta (Czech Metrology Institute, Praha; No 1035-SE-40845-17, ukupne aktivnosti 80,63 kBq na dan 22.12.2017. godine. Korišćeni standard sadržao je mešavinu radionuklida čijim se gama linijama pokriva energetski opseg od 46 keV do 1836 keV -  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ . Kontrola kvaliteta rada detektora se vrši najmanje jednom nedeljno tačkastim izvorima  $^{133}\text{Ba}$  i  $^{60}\text{Co}$ .

Snimanje i analiza spektara urađena je u programu GENIE2k, firme Canberra. Odbroji u spektru korigovani su na osnovno zračenje i aktivnosti su računane na osnovu jednačine:

$$A = N_E / (t \cdot p \cdot \varepsilon_E)$$

gde je  $N_E$  – odbroj u piku na energiji  $E$ ,  $t$  – vreme merenja,  $p$  – prinos gama linije na određenoj energiji i  $\varepsilon_E$  - efikasnost detekcije na toj energiji.

U budžet merne nesigurnosti uvrštena je statistička merna nesigurnost (5-20%) i nesigurnost kalibracije efikasnosti (3 %).

### **Rezultati i diskusija**

Izmerene koncentracije prirodnih radionuklida u sedimentu reke Dunav tokom 2020. i 2021. godine prikazane su u tabeli 2 sa mernom nesigurnošću koja je izražena kao proširena merna nesigurnost za faktor  $k = 2$  koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od 95 %. U 2020. godini koncentracije detektovanih radionuklida su se kretale u intervalima:

$^{226}\text{Ra}$ (14-24) Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  (17-29) Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  (230-260) Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  (15-22) Bq/kg i  $^{235}\text{U}$  (1,2-1,4) Bq/kg. Tokom 2021. godine koncentracije su bile prilično ujednačene i kretale su se u intervalima:  $^{226}\text{Ra}$  (26-38) Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  (25-56) Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  (330-645) Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  (24-53) Bq/kg i  $^{235}\text{U}$  (1,3-3,2) Bq/kg.

U merenim uzorcima je detektovano i prisustvo proizvedenog radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  u intervalu: (1,7-2,7) Bq/kg tokom 2020. godine [3] i (1,6-5,6) Bq/kg tokom 2021. godine. Poređenja radi, u periodu 2017-2019. merene aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  kretale su se u intervalu (1,8-18,3) Bq/kg.

Iz tabele 2 se može videti da je u uzorcima sedimenta izmerena najveća koncentracija  $^{40}\text{K}$ , zatim  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$ , dok su najniže koncentracije izmerene za  $^{235}\text{U}$ . Ovakav odnos zastupljenosti radioizotopa odgovara njihovoj zastupljenosti i u zemljištu. U tabeli 2 su dati i izračunati odnosi aktivnosti uranijumovih izotopa  $^{235}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ . Odnos aktivnosti ovih izotopa u prirodnom uranijumu iznosi 0,046. Prema vrednostima u tabeli 2 može se zaključiti da u uzorcima sedimenta postoji blagi trend uvećanja odnosa uranijumovih izotopa u odnosu na prirodni, što se može dovesti u vezu sa različitim ponašanjem uranijumovih izotopa u dinamičnoj sredini vodotoka.

Tokom 2018. godine na teritoriji Beograda vršeno je i radiološko ispitivanje uzoraka zemljišta, između ostalog i na lokacijama u okolini mesta uzorkovanja površinske vode i sedimenta u reci Dunav. Poređenja radi, u merenim uzorcima zemljišta, detektovane koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  su se kretale u intervalu (20-87) Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  (240-620) Bq/kg, a  $^{235}\text{U}$  (1,5-4,2) Bq/kg [4]. Slične vrednosti su izmerene i duž dunavskog toka na teritoriji Bugarske [5]. Poređenjem se uočava da su koncentracije radionuklida u sedimentu približno iste kao i koncentracije u zemljištu.

Tabela 2. Koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u sedimentu reke Dunav

REČNI SEDIMENT							
Period uzorkovanja		Koncentracija aktivnosti radionuklida (Bq/kg)					
Godina	Kvartal	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$
2020.	I	21 ± 1	26 ± 2	230 ± 20	15 ± 3	1,2 ± 0,1	0,080
	II	24 ± 1	21 ± 2	250 ± 20	21 ± 3	1,2 ± 0,1	0,057
	III	23 ± 1	29 ± 2	250 ± 20	18 ± 4	1,4 ± 0,1	0,078
	IV	14 ± 8	17 ± 2	260 ± 20	22 ± 3	1,2 ± 0,2	0,055
2021.	I	46 ± 3	56 ± 4	645 ± 41	53 ± 7	3,2 ± 0,3	0,060
	II	31 ± 2	30 ± 3	400 ± 30	34 ± 5	1,7 ± 0,2	0,050
	III	26 ± 1	25 ± 2	330 ± 20	24 ± 4	1,3 ± 0,1	0,054
	IV	38 ± 2	40 ± 3	370 ± 20	40 ± 5	2,4 ± 0,2	0,060

Ukoliko se izmerene koncentracije prirodnih radionuklida u sedimentu reke Dunav uporede sa rezultatima sa drugih lokacija duž dunavskog toka merenih ranijih godina, vrednosti izmerene u 2020. i 2021. godini na teritoriji grada Beograda su istog reda veličine: nekoliko Bq/kg  $^{235}\text{U}$ , nekoliko desetina Bq/kg  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  i nekoliko stotina Bq/kg  $^{40}\text{K}$  [6].

Takođe, u uzorcima površinske vode, koncentracije prirodnih radionuklida su značajno niže u odnosu na uzorke sedimenta i praktično se detektuje samo prisustvo  $^{40}\text{K}$  i  $^{226}\text{Ra}$  u

koncentracijama reda nekoliko desetina mBq/l. U period 2017-2021. u uzorcima površinske vode reke Dunav detektovano je prisustvo  $^{226}\text{Ra}$  u koncentracijama do 0,100 Bq/l,  $^{40}\text{K}$  do 0,515 Bq/l, dok su koncentracije  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{235}\text{U}$  bile ispod minimalnih detektabilnih aktivnosti [7].

Stepeni međusobne korelacije koncentracije pojedinačnih radionuklida u sedimentu reke Dunav, za period 2020-2021, određen je izračunavanjem Pirsonovih koeficijenata. Izračunate vrednosti koeficijenata pokazuju visok stepen korelacije i kretale su se u intervalu (0,89-0,97), što je i prikazano u Tabeli 3. Ove korelacije su dosta jake s obzirom na to da osim  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{238}\text{U}$ , ostali ispitani radionuklidi nisu članovi iste serije, odnosno nisu u odnosu "roditelj-potomak". Dobijene korelacije, odnosno odstupanja od istih bi mogle da posluže kao prvi indikator potrebe za detaljnijim ispitivanjem mogućih novonastalih zagađenja rečnih tokova, pre svega sedimenta, u narednom periodu.

Tabela 3. Pirsonovi koeficijenti korelacija aktivnosti prirodnih radionuklida u sedimentu reke Dunav

Pirsonovi koeficijenti korelacija ( <i>r</i> )					
Radionuklidi	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$
$^{226}\text{Ra}$	1,00				
$^{232}\text{Th}$	0,94	1,00			
$^{40}\text{K}$	0,89	0,90	1,00		
$^{238}\text{U}$	0,92	0,89	0,95	1,00	
$^{235}\text{U}$	0,94	0,97	0,92	0,96	1,00

## Zaključak

Detektovane koncentracije prirodnih radionuklida u sedimentu Dunava su u skadu sa koncentracijama u okolnom zemljištu, pa se može pretpostaviti da je prisutnost ovih radionuklida u ispitanim uzorcima posledica spiranja okolnog zemljišta i da korito reke Dunav na teritoriji Beograda, nije dodatno zagađeno prirodnim radionuklidima.

## Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru programa sistematskog ispitivanja radioaktivnosti u životnoj sredini na teritoriji grada Beograda. Autori se zahvaljuju i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (evidencioni broj: 451-03-68/2022-14/200017).

## Literatura

- [1] DDEP, Decay Data Evaluation Project (2017)  
[http://www.nucleide.org/DDEP\\_WG/DDEPdata.htm](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm)
- [2] Measurements of Radionuclides in Food and Environment, Method for Determining Gamma Emitters, IAEA Technical Reports Series No. 295, Vienna, 1989.
- [3] Janković M. i dr. (2021). *Proizvedeni radionuklidi u rečnom sedimentu reke Dunav*, Održivi razvoj Braničevskog okruga i energetskog kompleksa "Kostolac", Srbija, Požarevac, Maj 27 Zbornik radova, ISBN 978-86-914447-7-8, 16-18

- [4] Kvalitet životne sredine u Beogradu u 2018. godini, Urednici: Nataša Petrušić, Slaviša Mladenović, Dragan Pajić, Ivana Ristanović–Ponjavić, Izdavač: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za zaštitu životne sredine, ISBN 978-86-912029-6-5, Beograd, 2019.
- [5] Yordanova, I. (2005). Natural and artificial radioactivity in Bulgarian soils along the Danube River, *Journal Central European Agriculture*, 6(1), 85-90
- [6] Tanasković, I. (2003). *Radioaktivnost sedimenta reke Dunav na različitim lokacijama*, XXII Simpozijum JDZZ, Petrovac 29.09.-01.10. 2003. Zbornik radova, Izdavač: Institut za nuklearne nauke "Vinča", Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Urednik: Milojko Kovačević, ISBN 86-7306-061-3, 189-191
- [7] RS, Grad Beograd, Gradska uprava grada Beograda, Sekretarijat za zaštitu životne sredine. Elaborat: „Radioaktivnost životne sredine u Beogradu u 2020. godini“, Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, 2021



**ISBN: 978-86-7031-604-1**