

# ЗБОРНИК РАДОВА



## XXXI Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе



**06-08. октобар 2021.  
Београд, Србија**

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



# **ЗБОРНИК РАДОВА**

**XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Београд  
06-08. октобар 2021.**

**Београд  
2021.**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# **PROCEEDINGS**

**XXXI SYMPOSIUM RPSSM  
Belgrade  
6<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> October 2021**

**Belgrade  
2021**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

06-08.10.2021.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Ивана Вуканац  
Др Милица Рајачић

e-ISBN 78-86-7306-161-0

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милица Рајачић, Милош Ђалетић, Наташа Сарап

Електронско издање:

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

Година издања:

Октобар 2021.



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.



EFEKTI SVOJSTAVA TLA RAZLIČITIH POLJOPRIVREDNIH KONCEPATA  
NA MIGRACIJU ANTROPOGENIH RADIONUKLIDA

Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Milica RAJAČIĆ,  
Jelena KRNETA NIKOLIĆ, Dragana TODOROVIĆ,  
Ivana VUKANAC i Gordana PANTELIC

*Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, [natasas@vinca.rs](mailto:natasas@vinca.rs), [marijam@vinca.rs](mailto:marijam@vinca.rs), [milica100@vinca.rs](mailto:milica100@vinca.rs), [jnikolic@vinca.rs](mailto:jnikolic@vinca.rs), [beba@vinca.rs](mailto:beba@vinca.rs), [vukanac@vinca.rs](mailto:vukanac@vinca.rs), [pantelic@vinca.rs](mailto:pantelic@vinca.rs)*

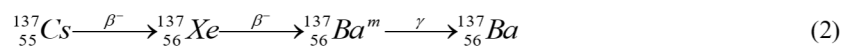
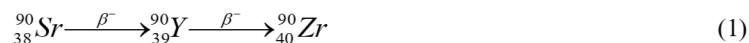
SADRŽAJ

*Istraživanja obuhvaćena ovom studijom predstavljaju prikaz efekata svojstava tla različitih poljoprivrednih koncepata na migraciju antropogenih radionuklida,  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ . Za potrebe ovog rada, izvršeno je uzorkovanje obradivog zemljišta na dve dubine na teritoriji grada Beograda tokom 2014. godine. U uzorcima zemljišta su određene fizičko–hemijske osobine i specifične aktivnosti ispitanih radionuklida. Radiohemijska analitička metoda je primenjena za određivanje sadržaja  $^{90}\text{Sr}$ , dok je specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  određena primenom gamaspektrometrijske metode. Ispitivanje efekata svojstava analiziranih uzoraka obradivog zemljišta na migraciju  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , izvršeno je statističkim metodama analize. Primenom linearne korelacione analize utvrđeni su dominantni fizičko–hemijski parametri koji utiču na migraciju  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u poljoprivrednom zemljištu.*

1. Uvod

Osim prirodnih radioizotopa, u atmosferi, tlu i vodi mogu se naći i antropogeni (proizvedeni) radionuklidi, koji su nastali kao posledica intenzivnih nadzemnih proba (testiranja) nuklearnog oružja u periodu od 1950. do 1970. godine, ili u slučaju akcidenata i havarija nuklearnih postrojenja [1]. U periodu od 1957. do 2011. godine, dogodilo se 28 nuklearnih akcidenata, od kojih je akcident u Černobilju bio nesumnjivo najširih razmera i najtežih posledica [2]. Generalno, primena nuklearne energije u mirnodopske svrhe je dovela do svojevrsne tehnološke revolucije, ali i povećanog rizika kontaminacije životne sredine antropogenim radionuklidima, što predstavlja ozbiljan i globalni problem.

Najznačajniji antropogeni radionuklidi koji nastaju kao proizvodi nuklearne fisije su  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , jer učestvuju u mineralnom metabolizmu živih organizama. Radionuklid  $^{90}\text{Sr}$  je čist beta emiter sa vremenom poluraspada od 28,8 godina, dok je  $^{137}\text{Cs}$  beta–gama emiter sa vremenom poluraspada od 30,2 godine [3, 4]. Navedeni radionuklidi pripadaju grupi ekstremno toksičnih radionuklida, koji izazivaju dugotrajno ozračivanje organizma [5, 6]. Radioaktivni raspadi jezgara pomenutih radionuklida, odvijaju se prema sledećim relacijama:



Glavni mehanizmi deponovanja antropogenih radionuklida iz atmosfere na površinu Zemlje su padavine. Radionuklidi koji se deponuju u vidu čvrstih čestica, mehanički se

zadržavaju na površini zemljišta, dok oni koji su rastvoreni u padavinama, procesom filtracije ulaze u zemljište i najvećim delom se vezuju u površinskom sloju. Distribucija antropogenih radionuklida u zemljištu zavisi od njihovih fizičko–hemijskih osobina, kao i od sposobnosti raznih vrsta zemljišta da vrše sorpciju ili omogućavaju migraciju radionuklida u dublje slojeve zemljišta. Uglavnom se karakteriše izraženom neravnomernošću duž neobrađivih i obrađivih profila zemljišta [7]. U slučaju obrađivog zemljišta, u procesu obrade dolazi do mešanja (rotiranja) slojeva zemljišta, tako da prvobitna zemljišna struktura biva poremećena i antropogeni radionuklidi se mehanički preraspodeljuju. Najveći deo se tokom dužeg perioda zadržava u površinskom sloju zemljišta (0–10 cm), a u oranicama u oraničnom horizontu (20–30 cm).

Studije o distribuciji antropogenih radionuklida u životnoj sredini obezbeđuju osnovne radiološke informacije od vitalnog značaja. Stoga je cilj sprovedene studije prikaz efekata svojstava tla različitih poljoprivrednih koncepata na migraciju antropogenih radionuklida,  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , kao i utvrđivanje dominantnih fizičko–hemijskih parametara koji utiču na njihovu vertikalnu distribuciju u ispitivanom zemljištu.

### 2. Eksperimentalni deo

Uzorkovanje u okviru istraživanja obuhvaćenog ovim radom, obavljeno je na lokalitetu Radmilovac koji se nalazi u blizini Instituta za nuklearne nauke "Vinča" u Beogradu. Orađivo zemljište je uzorkovano na dve dubine 0–15 cm i 15–30 cm u proleće i jesen 2014. godine. U okviru organskog poljoprivrednog koncepta primenjena su dva tipa đubrenja, kao i kontrolni tretman bez aplikacije đubrenja, dok su u okviru održivog poljoprivrednog koncepta primenjena dva različita nivoa đubrenja, uz kontrolni tretman bez đubrenja. Uzorkovan je jednak broj uzoraka u obe sezone sa istih mikrolokacija na osnovu geografskih koordinata. Svaki od uzoraka u okviru odgovarajućeg koncepta podvrgnut je posebnoj analizi. Uzorkovanje je izvršeno u skladu sa preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju.

Priprema uzoraka zemljišta je uključivala sledeće korake: uklanjanje mehaničkih nečistoća i sitnjenje do agregata veličine 1–3 cm; sušenje u sušnici do konstantne mase na 105 °C; mehaničko sitnjenje u mlinu za mlevenje uzoraka i dodatno ručno u avanu sa tučkom, a zatim prosejavanje kroz sito od nerđajućeg čelika (veličine pora 250  $\mu\text{m}$ ), čime je izvršeno homogenizovanje do praha. Pripremljeni uzorci su izmereni i upakovani u marineli posude zapremine 500 cm<sup>3</sup> za potrebe gamaspektrometrijske analize. Za analizu sadržaja  $^{90}\text{Sr}$  odmereno je oko 150 g na prethodno opisan način pripremljenih uzoraka, koji su dodatno mineralizovani na 500 °C tokom 12 h.

Specifična aktivnost  $^{90}\text{Sr}$  u ispitanim uzorcima je određena nakon tretiranja uzoraka radiohemijskom analitičkom metodom. Spektrometrija beta zračenja je izvršena mernim uređajem koji se koristi za merenje niskih aktivnosti beta emitera u uzorcima iz životne sredine, niskofonskim  $\alpha/\beta$  gasnim proporcionalnim brojačem *Thermo Eberline FHT 770 T* (ESM Eberline Instruments GmbH, Erlangen, Germany), čija je efikasnost za merenje ukupne beta aktivnosti iznosila 35 %. Vreme merenja uzoraka je iznosilo 5400 s.

Specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u ispitanim uzorcima je određena gamaspektrometrijskom metodom, korišćenjem CANBERRA poluprovodničkog germanijumskog detektora visoke čistoće (Canberra Industries, Meriden, Connecticut, SAD), relativne efikasnosti 18 % na energiji od 1332 keV. Vreme merenja uzoraka je iznosilo 60000 s. Spektri su analizirani upotrebom programa GENIE 2000.

Primenjene metode za određivanje fizičko–hemijskih karakteristika uzoraka zemljišta su detaljnije opisane u studiji [8]. Mehanički sastav zemljišta je određen pipet metodom, higroskopska vlažnost gravimetrijskim gubitkom vode iz uzoraka zemljišta, a gustina

cilindrima po Kopecky–om zapremine 100 cm<sup>3</sup>. Elektrometrijska metoda pomoću pH–metra sa dvojnou kombinovanou elektrodom je primenjena za određivanje pH vrednosti zemljišta i u vodi i u kalijum–hloridu. Kvantitativni sadržaj kalcijum–karbonata je određen volumetrijski merenjem zapremine oslobođenog ugljen–dioksida, pomoću Scheibler–ovog kalcimetra. Sadržaj humusa je određen Tjurin–ovom metodom, dok je sadržaj organskog ugljenika određen titracijom sa (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>×6H<sub>2</sub>O nakon digestije uzoraka rastvorom dihromat sumporne kiseline.

### 3. Rezultati i diskusija

Fizičko–hemijske karakteristike zemljišta mogu uticati na migraciju i adsorpciju radionuklida u zemljištu [9]. Rezultati ispitivanja fizičkih i hemijskih osobina odabranog zemljišta su analizirani deskriptivnom statistikou (tabele 1 i 2). Na osnovu rezultata mehaničkih frakcija zemljišta prikazanih u tabeli 1, prema odgovarajućoj klasifikaciji, ispitano zemljište pripada praškasto–glinovitim ilovačama. Dobijene vrednosti higroskopske vlažnosti ispitivanog zemljišta potvrđuju da je to zemljište koje po mehaničkom sastavu odgovara ilovači, dok vrednosti gustine zemljišta ukazuju na manje sabijenu oranicu [7].

**Tabela 1. Deskriptivna statistika fizičkih osobina analiziranog zemljišta.**

Parametar	Mehanički sastav zemljišta (%)				Higroskopska vlažnost (%)	Gustina zemljišta (g cm <sup>-3</sup> )
	Krupni pesak	Sitni pesak	Prah	Glina		
Minimum	2,87	2,95	52,48	27,35	2,22	1,25
Maksimum	9,23	7,11	63,42	33,27	2,84	1,33
Opseg	6,36	4,16	10,94	5,92	0,62	0,08
Srednja vrednost	6,06	4,63	58,26	31,06	2,50	1,29
Standardna devijacija	2,78	1,79	4,66	2,36	0,22	0,03
Medijana	6,04	4,14	58,78	31,90	2,48	1,29
Koeficijent zaobljenosti	-2,82	-1,99	-2,44	-0,79	0,08	-0,46
Koeficijent asimetrije	-0,001	0,49	-0,17	-0,85	0,42	-0,25

**Tabela 2. Deskriptivna statistika hemijskih osobina analiziranog zemljišta.**

Parametar	pH u vodi	pH u KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	Humus (%)	Organski C (%)
Minimum	6,23	6,75	1,2	2,01	0,23
Maksimum	7,35	7,92	1,64	2,63	0,42
Opseg	1,12	1,17	0,44	0,62	0,19
Srednja vrednost	6,77	7,31	1,39	2,28	0,34
Standardna devijacija	0,45	0,54	0,16	0,25	0,08
Medijana	6,78	7,28	1,375	2,245	0,36
Koeficijent zaobljenosti	-2,03	-2,64	-0,58	-1,75	-1,66
Koeficijent asimetrije	0,05	0,09	0,46	0,37	-0,58

U ispitivanju hemijskih osobina zemljišta, pažnja je posvećena određivanju pH vrednosti zemljišta (u vodi i kalijum–hloridu), zatim sadržaja kalcijum–karbonata, sadržaja humusa, kao i sadržaja ukupnog organskog ugljenika (tabela 2). Na osnovu klasifikacije zemljišta prema hemijskoj reakciji, može se zaključiti da je hemijska reakcija zemljišta slabo kisela do neutralna. Luženje i taloženje karbonata zavisi od pH vrednosti zemljišta i bitan je faktor koji kontroliše rastvorljivost, naročito prirodnih radionuklida, što dovodi do njihove pokretljivosti, ali i vezivanja za organsku materiju u zemljištu. Ispitivano zemljište spada u slabo karbonatno zemljište. Prema klasifikaciji zemljišta na osnovu sadržaja humusa, ispitivano zemljište pripada klasi slabo humusnog zemljišta (1–3 % humusa). Organska materija je od velike važnosti prilikom proučavanja migracije radionuklida u zemljištu, jer oni mogu formirati sa organskom materijom komplekse odgovarajuće rastvorljivosti i na taj način migrirati duž profila zemljišta, ili ostati vezani u nekom od njegovih slojeva [10].

U tabeli 3 je predstavljena deskriptivna statistika vrednosti specifičnih aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima zemljišta u slojevima 0–15 cm (sloj I) i 15–30 cm (sloj II), za dve sezone uzorkovanja i dva poljoprivredna koncepta.

**Tabela 3. Deskriptivna statistika specifičnih aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu dva poljoprivredna koncepta.**

Parametar	Prolećna sezona				Jesenja sezona			
	$^{90}\text{Sr}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )		$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )		$^{90}\text{Sr}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )		$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	
	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II
Koncept	Organska poljoprivreda							
Minimum	2,67	2,56	23	22	2,27	2,23	25	25
Maksimum	3,16	2,64	26	30	2,47	2,54	28	29
Srednja vrednost	2,85	2,59	25	26	2,39	2,35	26	27
Standardna devijacija	0,27	0,04	2	4	0,11	0,17	2	2
Medijana	2,74	2,57	26	26	2,43	2,28	25	27
Koncept	Održiva poljoprivreda							
Minimum	2,48	2,32	22	26	2,29	2,02	22	22
Maksimum	3,14	3,37	27	29	2,51	2,78	26	25
Srednja vrednost	2,79	2,87	24	27,3	2,40	2,40	24,3	23,7
Standardna devijacija	0,33	0,53	3	1,5	0,11	0,38	2,1	1,5
Medijana	2,75	2,91	23	27	2,41	2,41	25	24

Nakon kontaminacije zemljine površine najveći deo  $^{90}\text{Sr}$ , kao i  $^{137}\text{Cs}$ , veže se za površinski sloj zemljišta (dubine do 10 cm), iz ovog sloja se mogu jonski izmeniti (13–30 %) i njihova koncentracija opada sa dubinom [4, 7, 8]. Studije su pokazale da se  $^{90}\text{Sr}$  ne ispira lako iz zemljišta i za njegovu migraciju do dubine od jednog metra potrebno je 40–200 godina [7]. Vertikalna migracija  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu je takođe spor proces i procenjeno je da iznosi oko 0,1 cm do 1 cm godišnje [4].

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 3, može se videti da nema značajnih varijacija u vrednostima specifičnih aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u ispitivanom zemljištu, uzimajući u



obzir dubinu uzorkovanja i primenjene agrotehničke i meliorativne mere u toku obrade zemljišta u okviru organskog i održivog poljoprivrednog koncepta. S obzirom na to da je uzorkovanje izvršeno na dubini do 30 cm, što predstavlja debljinu oraničnog sloja i zonu korenovog sistema većine ratarsko–povrarskih kultura, ovo je bilo i za očekivati, jer tehnologija obrade zemljišta posledično može dovesti do rotiranja u okviru ovog sloja zemljišta.

Relativni stepen vezivanja i zadržavanja  $^{90}\text{Sr}$ , kao i ostalih antropogenih radionuklida u zemljištu, u velikoj meri zavisi od jedinjenja u kome se nalaze (vodorastvorljivi, jonoizmenjivi, teško rastvorni), kao i od osobina zemljišta, koje predstavlja dinamičan makrosistem pogodan za jonsku izmenu elemenata [7]. Katjon stroncijuma stupa u intenzivnu jonsku izmenu sa kalcijumom, pri čemu se uspostavlja dinamička ravnoteža između čvrste i tečne faze u zemljištu. Na migracionu sposobnost radiocezijuma utiče prisustvo kalijuma, kao i stabilnog cezijuma [4]. Fizičko–hemijski procesi, odnosno interakcije sa matriksom zemljišta, koji utiču na migraciju radionuklida u zemljištu, kontrolisani su pretežno glinastom frakcijom zemljišta.

Da bi se utvrdili dominantni fizičko–hemijski parametri ispitivanog tla dva poljoprivredna koncepta, koji utiču na vertikalnu distribuciju  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , primenjena je linearna regresiona analiza. Koreliranost između pomenutih varijabli izražena preko Pirsonovih koeficijenata korelacije, prikazana je u tabelama 4 i 5.

**Tabela 4. Pirsonovi koeficijenti korelacije između specifične aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  i fizičko–hemijskih parametara ispitivanog zemljišta.**

Parametar	Prolećna sezona				Jesenja sezona			
	Organski koncept		Održivi koncept		Organski koncept		Održivi koncept	
	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II
Krupni pesak	0,10	0,32	– 0,56	– 0,69	– 0,02	0,36	0,39	– 0,65
Sitni pesak	– 0,94	– 0,84	– 0,99	– 0,98	0,97	– 0,82	– 0,56	– 0,99
Prah	– 0,15	0,08	– 0,55	– 0,69	0,23	0,11	0,40	– 0,65
Glina	0,14	– 0,08	0,76	0,86	– 0,22	– 0,12	– 0,13	0,83
Higroskopska vlažnost	0,06	0,28	– 0,65	– 0,77	0,02	0,32	0,28	– 0,74
Gustina zemljišta	– 0,92	– 0,80	– 0,51	– 0,65	0,94	– 0,78	0,44	– 0,61
pH u vodi	– 0,77	– 0,90	0,24	0,40	0,72	– 0,91	– 0,68	0,35
pH u KCl	– 0,33	– 0,54	0,73	0,84	0,26	– 0,57	– 0,18	0,80
$\text{CaCO}_3$	0,11	– 0,11	0,24	0,40	– 0,19	– 0,15	– 0,69	0,35
Humus	– 0,95	– 0,99	– 0,04	0,14	0,92	– 0,99	– 0,86	0,08
Organski ugljenik	0,80	0,92	– 0,70	– 0,81	– 0,76	0,93	0,22	– 0,78

**Tabela 5. Pirsonovi koeficijenti korelacije između specifične aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  i fizičko–hemijskih parametara ispitivanog zemljišta.**

Parametar	Prolećna sezona				Jesenja sezona			
	Organski koncept		Održivi koncept		Organski koncept		Održivi koncept	
	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II	Sloj I	Sloj II
Krupni pesak	- 0,74	- 0,98	0,99	1,00	- 0,95	0,30	- 0,99	- 0,77
Sitni pesak	- 0,83	- 0,44	0,67	0,56	0,07	0,99	- 0,63	- 0,95
Prah	- 0,88	- 0,99	0,98	0,99	- 0,84	0,53	- 0,99	- 0,77
Glina	0,88	0,99	- 0,99	- 0,97	0,85	- 0,52	0,99	0,92
Higroskopska vlažnost	- 0,77	- 0,98	0,99	0,99	- 0,94	0,34	- 0,99	- 0,84
Gustina zemljišta	- 0,87	- 0,50	0,98	0,99	0	1,00	- 0,99	- 0,74
pH u vodi	0,05	0,54	- 0,87	- 0,93	0,69	0,45	0,70	0,51
pH u KCl	0,56	0,90	- 0,99	- 0,98	0,99	- 0,07	0,99	0,89
CaCO <sub>3</sub>	0,87	1,00	- 0,87	- 0,93	0,87	- 0,50	0,89	0,51
Humus	- 0,31	0,21	- 0,70	- 0,80	0,67	0,74	0,74	0,25
Organski ugljenik	0	- 0,50	0,99	0,99	- 0,87	- 0,50	- 0,99	- 0,88

U okviru koncepta organske poljoprivrede, dobijena je veoma jaka korelacija između aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  u gornjem sloju zemljišta i sadržaja sitnog peska, gustine zemljišta i sadržaja humusa. U slučaju koncepta održive poljoprivrede, ovo je slučaj samo za prvu sezonu uzorkovanja, i to samo za mehaničku frakciju sitnog peska.

Kada je u pitanju  $^{137}\text{Cs}$ , veoma jaku korelaciju pokazuje njegova aktivnost u gornjem sloju zemljišta sa gotovo svim fizičkim osobinama tla (osim sadržaja sitnog peska), a od hemijskih, sa vrednošću pH u kalijum–hloridu i sadržajem organskog ugljenika, u okviru održivog poljoprivrednog koncepta. U slučaju koncepta organske poljoprivrede, ovo je slučaj u jesenjoj sezoni uzorkovanja, i to za: mehaničku frakciju krupnog peska, higroskopsku vlažnost i vrednost pH u KCl.

U sloju zemljišta od 15-30 cm, u okviru organskog koncepta veoma jaka korelacija postoji između aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  i hemijskih osobina tla: pH u vodi, sadržaja humusa i sadržaja organskog ugljenika. U slučaju koncepta održive poljoprivrede, ovo je slučaj samo za mehaničku frakciju sitnog peska.

U drugom sloju zemljišta, aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  je pokazala veoma jaku korelaciju sa svim fizičkim osobinama tla, osim sa sadržajem sitnog peska, u oba poljoprivredna koncepta, ali samo prve sezone uzorkovanja, dok od hemijskih parametara, sa sadržajem karbonata u organskom konceptu, a u održivom sa svim, osim sa sadržajem humusa.

Dobijene koreliranosti ukazuju na to da fizičko–hemijske karakteristike zemljišta imaju uticaj na ponašanje antropogenih radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u terestričkom ekosistemu.

### 4. Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja, može se zaključiti da dominantan uticaj na ponašanje radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u zemljišnim profilima dva poljoprivredna koncepta, imaju mehanički sastav zemljišta (relativni odnos mehaničkih frakcija) i sadržaj humusa. Ovim su potvrđeni literaturni podaci da huminske materije u glinovitom zemljištu olakšavaju interakcije između rastvorljivih oblika antropogenih radionuklida i čestica zemljišta, što omogućava njihovu pokretljivost u terestričkim ekosistemima.

### 5. Zahvalnica

Istraživanje je finansirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, na osnovu Aneks ugovora, čiji je evidencioni broj: 451-03-9/2021-14/200017.

### 6. Literatura

- [1] 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.
- [2] G. K. Pantelić, M. M. Janković, J. D. Krneta Nikolić, D. J. Todorović, M. M. Rajačić, N. B. Sarap, *Akcidenti i monitoring radioaktivnosti*, U: Černobilj 30 godina posle, Ur. G. Pantelić, Institut za nuklearne nauke „Vinča” i Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 2016, 19-42.
- [3] I. Friberg. Development and application of a method for the determination of  $^{90}\text{Sr}$  in environmental samples. *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 226, 1997, 55-60.
- [4] Lj. J. Janković-Mandić, R. M. Dragović, M. M. Đorđević, M. B. Đolić, A. E. Onjia, S. D. Dragović, G. G. Bačić. Prostorna varijabilnost  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu Beograda (Srbija). *Hem. Ind.* 68, 2014, 449-455.
- [5] C. Landstetter, G. Wallner. Determination of strontium-90 in deer bones by liquid scintillation spectrometry after separation on Sr-specific ion exchange columns. *J. Environ. Radioactiv.* 87, 2006, 315-324.
- [6] R. L. Kathren, *Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution and Surveillance*, Harwood Academic Publishers, Amsterdam, 1984.
- [7] B. Gajić, *Fizika zemljišta*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2006.
- [8] N. B. Sarap, *Praćenje distribucije radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  u poljoprivrednom zemljištu i biljnim kulturama metodom spektrometrije beta zračenja*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 2017.
- [9] S. Dragovic, B. Gajic, R. Dragovic, L. Jankovic-Mandic, L. Slavkovic-Beskoski, N. Mihailovic, M. Momcilovic, M. Cujic. Edaphic factors affecting the vertical distribution of radionuclides in the different soil types of Belgrade, Serbia. *J. Environ. Monit.* 14, 2012, 127-137.
- [10] F. A. Vega, E. F. Covelo, M. L. Andrade, P. Marcet. Relationships between heavy metals content and soil properties in minesoils. *Anal. Chim. Acta* 524, 2004, 141-150.

**EFFECTS OF SOIL PROPERTIES OF DIFFERENT AGRICULTURAL  
CONCEPTS TO MIGRATION OF THE ARTIFICIAL RADIONUCLIDES**

**Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Milica RAJAČIĆ,  
Jelena KRNETA NIKOLIĆ, Dragana TODOROVIĆ,  
Ivana VUKANAC and Gordana PANTELIĆ**

*University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Institute of National  
Importance for the Republic of Serbia, Radiation and Environmental Protection  
Department, Belgrade, Serbia, [natasas@vinca.rs](mailto:natasas@vinca.rs), [marijam@vinca.rs](mailto:marijam@vinca.rs),  
[milica100@vinca.rs](mailto:milica100@vinca.rs), [jnikolic@vinca.rs](mailto:jnikolic@vinca.rs), [beba@vinca.rs](mailto:beba@vinca.rs), [vukanac@vinca.rs](mailto:vukanac@vinca.rs),  
[pantelic@vinca.rs](mailto:pantelic@vinca.rs)*

**ABSTRACT**

The research included by this study presents the effects of soil properties of different agricultural concepts to the migration of anthropogenic radionuclides,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . For the purposes of this paper, sampling of agricultural soil at two depths on the territory of the city of Belgrade during 2014 was performed. The physico-chemical properties of investigated soil, as well as the specific activities of the mentioned radionuclides were determined. The radiochemical analytical method was used to determine the  $^{90}\text{Sr}$  content, while the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  was determined using the gamma spectrometric method. Examination of the effects of soil properties on the migration of anthropogenic radionuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , based on the analyzed soil samples, was performed by statistical methods of analysis. By applying linear correlation analysis, the dominant physico-chemical parameters that affect the migration of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in agricultural soil were determined.