

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



**ЗБОРНИК
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Сребрно језеро
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG
Srebrno jezero
27- 29. September 2017**

**Belgrade
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
27-29.09.2017.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

ISTRAŽIVANJE KORELACIJA SADRŽAJA RADIONUKLIDA I GEOHEMIJSKIH KARAKTERISTIKA ZEMLJIŠTA VOJVODINE

Sofija FORKAPIĆ¹, Jovica VASIN², Ištvan BIKIT¹, Dušan MRĐA¹, Kristina BIKIT¹, Stanko MILIĆ²

- 1) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija, sofija@df.uns.ac.rs
- 2) Univerzitet u Novom Sadu, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija, jovica.vasin@ifvcns.ns.ac.rs

SADRŽAJ

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja moguće korelacije geohemijskih karakteristika zemljišta i sadržaja prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , kao i radionuklida antropogenog porekla ^{137}Cs u svim geomorfološkim jedinicama zemljišta na području Vojvodine. Tokom 2001. godine izvršen je detaljan monitoring radioaktivnosti zemljišta na 50 odabranih lokacija prema tipu zemljišta sa analizom mehaničkog sastava zemljišta i sadržaja humusa i pristupačnog fosfora i kalijuma. Kako bi se ispitao potencijalni uticaj obrade poljoprivrednog zemljišta i vremenskih uslova na migraciju i distribuciju radionuklida prisutnih u zemljištu, monitoring zemljišta je na istim lokacijama ponovljen 2010. godine. Glavni zaključak ovih istraživanja je da izmerene maksimalne koncentracije aktivnosti radionuklida: ^{238}U (87 Bq/kg), ^{226}Ra (44,7 Bq/kg), ^{232}Th (55,5 Bq/kg) i ^{137}Cs (29 Bq/kg) u profilu zemljišta dubine 30 cm ne ugrožavaju bezbednost proizvodnje hrane na ovom zemljištu. Utvrđena je najveća zavisnost koncentracije aktivnosti kalijuma ^{40}K od sadržaja gline u poljoprivrednom zemljištu.

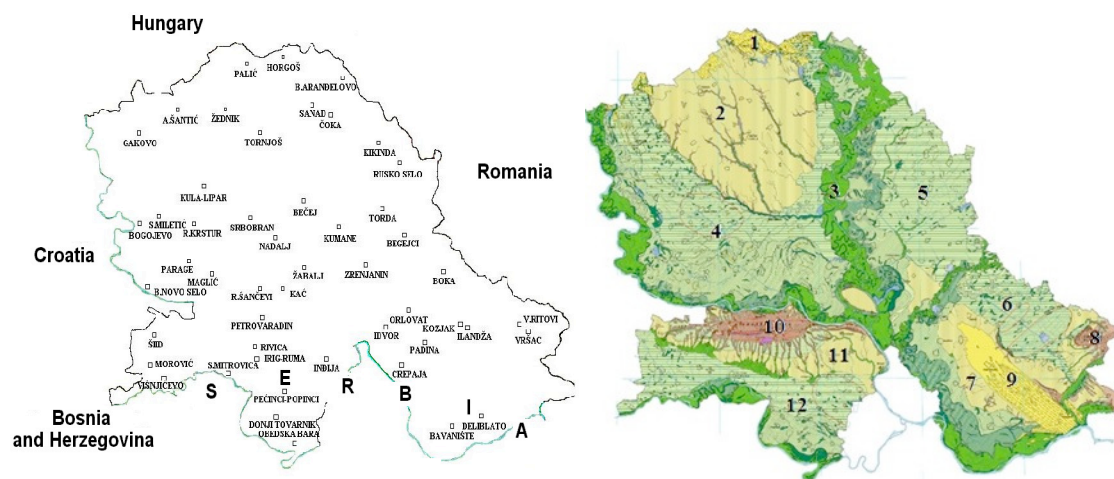
1. UVOD

Zemljište predstavlja kompleksan materijal koji se sastoji od mineralne i organske komponente, vode i vazduha. Prirodna radioaktivnost zemljišta potiče od raspada radionuklida, dominantno članova uranijumovog i torijumovog niza ali i kalijuma ^{40}K , nastalih tokom geneze zemljišta iz nosećih stena. Koncentracije uranijuma i torijuma u Zemljinoj kori se nalaze u opsegu od 1,1 – 10 ppm za uranijum [1] i 10 ppm za torijum [2], što odgovara opsegu koncentracija aktivnosti 13,5–123 Bq/kg za ^{238}U i 39,4 Bq/kg za ^{232}Th . Pored toga, proizvedeni radionuklidi dospevaju u zemljište taloženjem iz atmosfere i disperzijom, gde postaju izvor potencijalnog spoljašnjeg izlaganja stanovništva, ali i unutrašnjeg izlaganja putem inhalacije ili ingestije. Najzastupljeniji fisioni produkt u zemljištu, cezijum ^{137}Cs , se ravnomerno raširio i adsorbovao u površinskom sloju zemljišta za vreme proba nuklearnog oružja (1950 – 1960) i nakon nuklearnog akcidenta u Černobilju 1986. godine. Problem vertikalne distribucije i migracije ^{137}Cs u slojevima zemljišta je široko proučavan u literaturi [3-4]. Pošto su radionuklidi u zemljištu dominantno adsorbovani na organskoj materiji, glini ili karbonatima [5] karakteristike zemljišta različito utiču na procese sorpcije/desorpcije, migracije i translokacije, kao i biološke fiksacije radionuklida u terestrijalnom ekosistemu [6-7]. U ovom radu prikazani su rezultati detaljne analize poljoprivrednog zemljišta na 50 lokacija u Vojvodini sa ciljem da se istraže moguće korelacije između geohemijskih karakteristika zemljišta i sadržaja radionuklida. Gama-spektrometrijskom metodom određene su koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , kao

i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs u svim tipovima zemljišta koji su se formirali na istom nosećem materijalu – lesu. Kako bi se ispitao uticaj mehaničke obrade zemljišta i vremenskih uslova na migraciju i distribuciju prisutnih radionuklida u zemljištu, uzorkovanja i analize zemljišta sa istih lokacija su ponovljena u vremenskom rasponu od 9 godina (2001. [8] i 2010. godine). Zemljište je uzorkovano iz površinskog sloja i sa dubine od 30 cm što zajedno sa ispitivanjem mehaničkog sastava i hemijskih karakteristika zemljišta daje bogatu bazu podataka za poređenje i utvrđivanje mogućih korelacija. Nedavna istraživanja poljoprivrednog zemljišta Vojvodine ukazuju na tendenciju opadanja organske komponente – humusa koji predstavlja značajni regulator svih hemijskih, fizičkih i bioloških karakteristika zemljišta. Kao posledica ove pojave došlo je do značajne promene u sadržaju fosfora i kalijuma u zemljištu pristupačnih za biljke. Detaljan monitoring poljoprivrednog zemljišta je bio neophodan i nakon bombardovanja Srbije 1999. godine kako bi se ispitala kontaminacija zemljišta osiromašenim uranijumom i produktima sagorevanja nafte i derivata (PAH-ovi).

2. METODOLOGIJA UZORKOVANJA I MERENJA

Ispitivanja plodnosti zemljišta i sadržaja opasnih i štetnih materija neorganskog i organskog porekla izvršena su u Laboratoriji za agroekologiju, Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu dok su ispitivanja radiokativnosti obavljena u Laboratoriji za nuklearnu fiziku, Prirodno matematičkog fakulteta u Novom Sadu. Izbor lokaliteta za uzorkovanje zemljišta je bio po kriterijumima zastupljenosti površina pod pojedinim geomorfološkim celinama [9] i pojedinim tipovima zemljišta [10-11].



Slika 1. Mapa Vojvodine sa 50 lokacija na kojima je uzorkovano zemljište (levo) i raspodelom geomorfoloških jedinica (desno): Horgoška peščara (1), Bačka lesna zaravan (2), aluvijalne ravni (3), Bačka lesna terasa (4), Banatska lesna terasa (5), Tamiška lesna zaravan (6), Deliblatska lesna zaravan (7), Vršačke planine (8), Deliblatska peščara (9), Fruška Gora (10), Fruškogorska lesna zaravan (11) i Sremska lesna terasa (12)

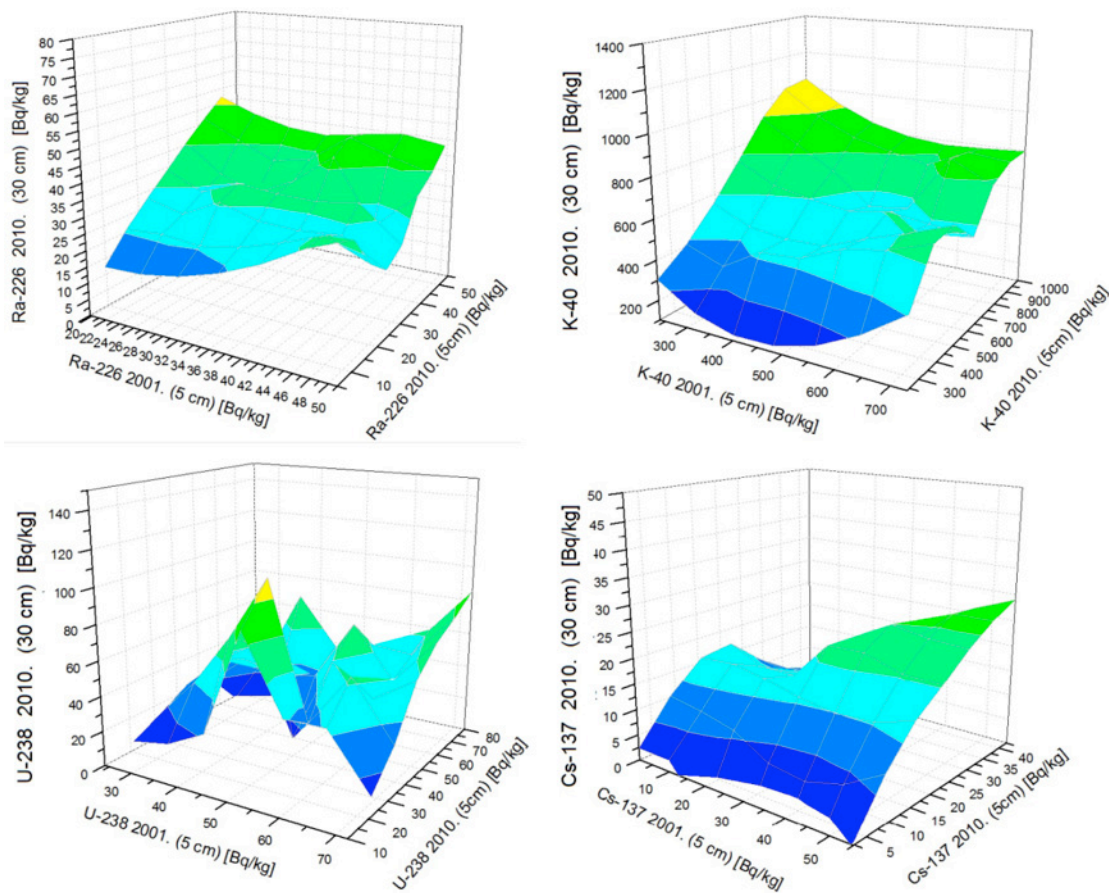
Tipovi zemljišta kojim pripadaju ispitivani uzorci zemljišta su: černoziem, humoglej, fluvisol, pseudoglej, solonjec, kambisol, solončak i arenosol. Sadržaj gline i humusa je varirao unutar širokih opsega u zavisnosti od tipa zemljišta. Noseći materijal (geološki

substrat) za sve analizirane tipove zemljišta je les – lakoporozna sedimentna stena nataložena radom vetra u pleistocenu za vreme međuledenih doba [12]. U slučaju kada su različiti tipovi zemljišta prisutni na istom substratu, razlike u procesima koji dovode do formiranja svakog tipa zemljišta imaju veliki uticaj na povećanje ili smanjenje sadržaja radionuklida [5]. Koncentracije aktivnosti radionuklida gama emitera određene su metodom niskofonske gama spektrometrije na dva HPGe detektora visoke rezolucije u pasivnoj zaštiti. Prvi detektor proizvođača CANBERRA nominalne efikasnosti 36% i rezolucije 1,79 keV za liniju ^{60}Co na 1,33 MeV je radio u olovnoj zaštiti debljine 12 cm sa unutrašnjim slojem Cu debljine 3 mm. Drugi germanijumski detektor proizvođača ORTEC je tipa GMX sa proširenim opsegom u niskoenergetskom delu (10 keV–3 MeV) nominalne efikasnosti 32% i rezolucije 1,9 keV za liniju ^{60}Co na 1,33 MeV i smešten je u cilindričnu olovnu zaštitu debljine 12 cm. Kroz sistem predpojačavača i pojačavača spektri su kanalisani do multikanalnog analizatora MCA sa dva analogno-digitalna konvertora od 8192 kanala ukupne memorije. MCA je direktno povezan sa računarom u kojem se spektri snimaju i analiziraju. Za prikupljanje i analizu gama spektara korišćen je softver Genie 2000. Sve merne nesigurnosti su izražene kao proširene na nivou poverenja od 95% ($k=2$). Statističke i sve systemske greške (dominantno greška efikasnosti detekcije i korekcije na geometriju uzorka) su uključene u kombinovanu standardnu nesigurnost. Aktivnosti uranijuma ^{238}U su određene posebnim metodom razvijenim u Laboratoriji za nuklearnu fiziku u Novom Sadu (iz gama linija prvog potomka ^{234}Th) [13]. Sa svake odabrane lokacije uzeto je 10 mikro uzoraka zemljišta sa površine od 10 x 10 m, a zatim napravljen jedan kompozitni uzorak mešanjem. Za ispitivanje radioaktivnosti uzorci zemljišta su uzeti sa dve dubine: iz površinskog sloja (0–10 cm) i sa dubine do 30 cm agrohemijском sondom. Hemijske analize zemljišta su izvršene samo na uzorcima sa dubine od 30 cm. Uzorci zemljišta su sušeni na 105°C do konstantne mase. Nakon uklanjanja mehaničkih nečistoća (sitnog kamenja i biljnog materijala), zemljište je usitnjeno, homogenizovano i prosejano kroz sito otvora 2 mm. Pripremljeni uzorci su pakovani u cilindrične posude (visine 62 mm, prečnika 67 mm) i mereni na kapi detektora. Tipična masa uzoraka je iznosila od 200 g–300 g, a vreme merenja 80 ks. Minimalne detektabilne aktivnosti (MDA) izračunate na osnovu tipičnog vremena merenja uzoraka za pojedine radionuklide su iznosile: 9 Bq/kg za ^{238}U , 2,5 Bq/kg za ^{226}Ra , 1,3 Bq/kg za ^{232}Th , 13,3 Bq/kg za ^{40}K i 1,2 Bq/kg za ^{137}Cs , pH-vrednost određena je u suspenziji zemljišta sa vodom (10 g: 25 cm³) i suspenziji zemljišta sa kalijum hloridom, potenciometrijski, pH metar PHM62 standard- Radiometar Copenhagen. Sadržaj humusa određen je metodom Tjurin-a; ukupan sadržaj azota po Kjeldahlu na sistemu za digestiju i titraciju Tacator; lakopristupačni fosfor i lakopristupačni kalijum (ekstrakcijom sa amonijum laktatom) - AL metodom. Za određivanje mehaničkog sastava zemljišta korišćene su metode: frakcionisanje pomoću serije sita i pipet metoda. U cilju ostvarivanja peptizacije mehaničkih elemenata uzorci zemljišta se tretiraju natrijum-pirofosfatom. Na osnovu veličine čestica prema IUSS klasifikaciji mogu se odrediti sledeće frakcije: krupan pesak (0,2–2 mm), sitan pesak (0,02–0,2 mm), fini prah (0,002–0,02 mm) i glina (<0,002 mm) [10].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Koncentracije aktivnosti detektovanih radionuklida u uzorcima zemljišta sa iste lokacije u različitim godinama uzorkovanja i sa različitim dubina su upoređene grafički (slika 2), a u tabeli 1 su dati dobijeni opsezi sa opisom lokacija a kojima su izmerene maksimalne

i minimalne vrednosti. Može se uočiti da je narušena tipična vertikalna distribucija ^{137}Cs po dubini zemljišta usled dugogodišnje aktivne obrade zemljišta i mešanja slojeva.



Slika 2. 3-D površinski grafici upoređenih koncentracija aktivnosti ^{226}Ra , ^{40}K , ^{238}U i ^{137}Cs u uzorcima zemljišta sa iste lokacije u različitim godinama uzorkovanja (2001. i 2010) i sa različitim dubina (5 i 30 cm)

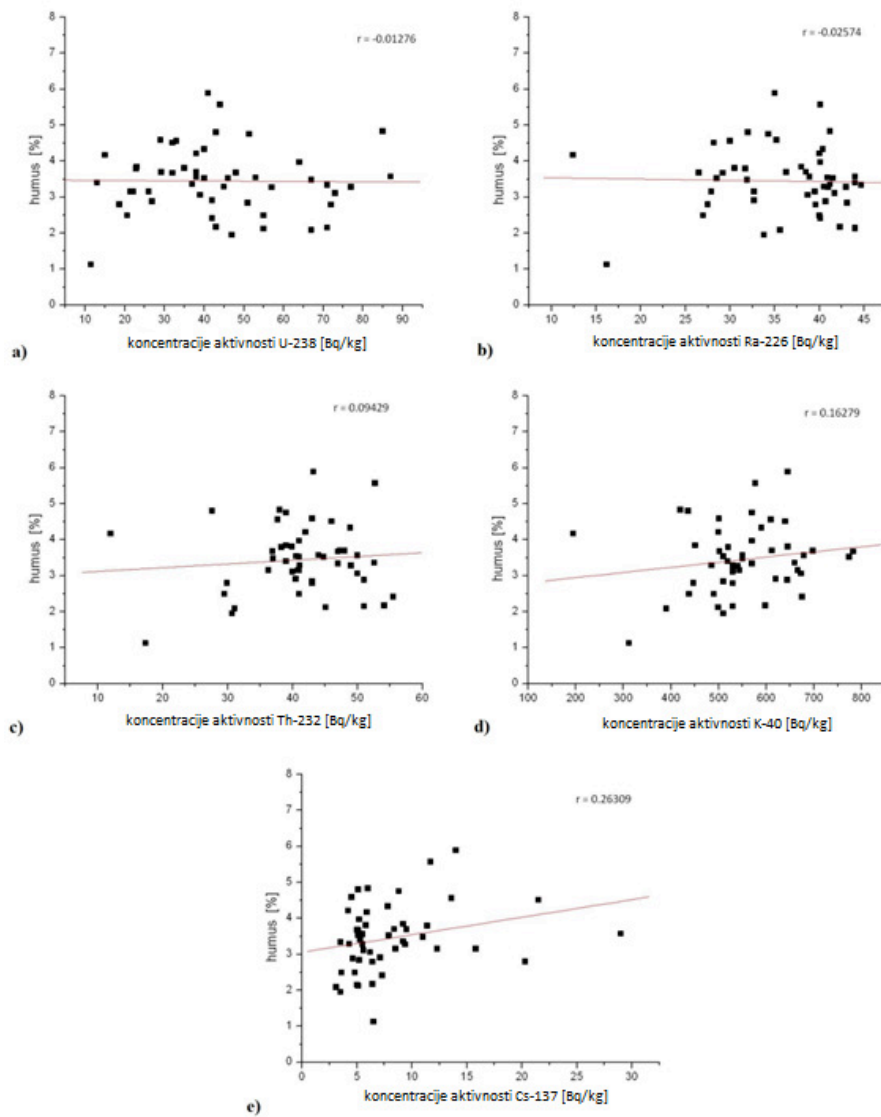
Na osnovu analize 3-D površinskih grafika upoređenih koncentracija može se zaključiti da prirodni radionuklidi ^{226}Ra i ^{40}K pokazuju slično ponašanje u različitim tipovima zemljišta formiranih na istom geološkom substratu – slabu pokretljivost i konstantnu raspodelu po vertikalnom profilu što je u dobrom slaganju sa zaključcima drugih autora [14, 15]. Za razliku od njih ^{238}U može da formira kompleksne jone u krečnjačkom zemljištu i da migrira u dublje slojeve zemljišta [5] čime je narušena uniformna distribucija po slojevima. Na nekoliko lokacija sa povišenim sadržajem humusa je uočeno veće prisustvo uranijuma u površinskom sloju zemljišta, što se može objasniti poreklom iz fosfatnih đubriva [7]. Fizičke i hemijske karakteristike uzoraka zemljišta su date u tabeli 2. pH vrednosti se kreću u opsegu 6,64 - 8,41 za 2010. i u opsegu 6,03 - 9,37 za 2001.godinu, što znači da su zemljišta pretežno alkalna. CaCO_3 je prisutan u skoro svim uzorcima zemljišta, a sadržaj humusa je nizak i kreće se u granicama (1,13% - 5,89%) u 2010. i (0,45% - 4,2%) u 2001. godini.

Tabela 1. Opsezi sadržaja radionuklida u zemljištu za različite godine i dubine uzorkovanja

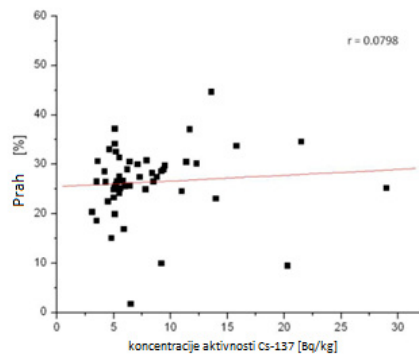
radio nuklid	A [Bq/kg]			Opis lokacije sa minimalnom vrednošću (geomorf.jedinica, tip zemljišta, usev)	Opis lokacije sa maksimalnom vrednošću (geomorf.jedinica, tip zemljišta, usev)
	2001. 0-5 cm	2010. 0-5 cm	2010. 30 cm		
²³⁸ U	24 - 72	9,4-80	11,5 - 87	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice	Banatska lesna terasa, humoglej, oranice
²²⁶ Ra	19,1 - 51	9,7-49,1	12,4 - 44,7	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice)	Aluvijalna ravan, fluvisol, pašnjak
²³² Th	22 - 62	11,7-70,5	22 - 55,5	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice	Banatska lesna terasa, černoziem, oranice
⁴⁰ K	238 - 730	238-1000	312 - 783	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice
¹³⁷ Cs	5,7 - 55	3,0-42,6	3,1 - 29	Aluvijalna ravan, fluvisol, oranice	Banatska lesna terasa, humoglej, oranice

Tabela 2. Opsezi hemijskih karakteristika za 50 uzoraka zemljišta iz 2001. i 2010.

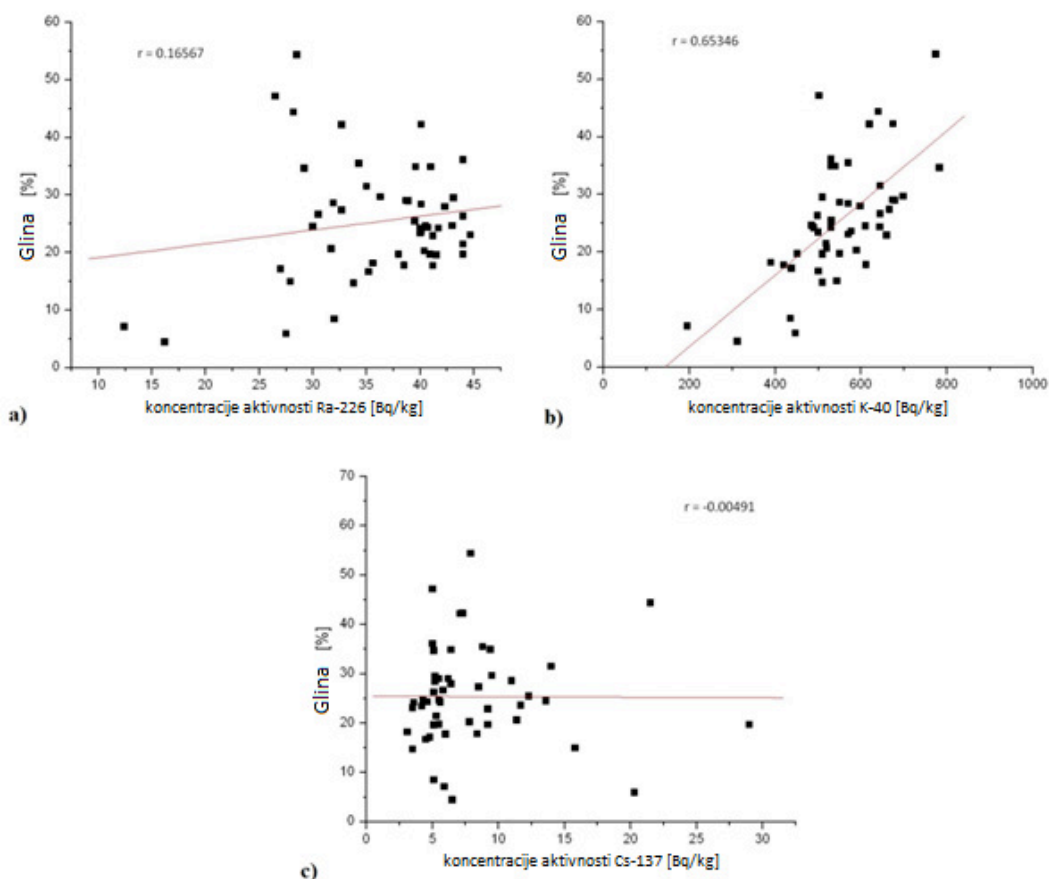
	Godina uzorkovanja 2001.	Godina uzorkovanja 2010.	Opis lokacije sa minimalnom vrednošću (geomorf.jedinica, tip zemljišta, usev)	Opis lokacije sa maksimalnom vrednošću (geomorf.jedinica, tip zemljišta, usev)
Humus [%]	0,45 – 4,2	1,13 – 5,89	Horgoška peščara, arenosol, vinograd	Bačka lesna zaravan, černoziem, oranice
Glina [%]	-	4,44 – 54,36	Horgoška peščara, arenosol, vinograd	Aluvijalna ravan, humoglej, oranice
Krupan pesak [%]	-	0,27 – 18,73	Sremska lesna terasa, humoglej, oranice	Bačka lesna zaravan, humoglej, oranice
Sitan pesak [%]	-	14,31 – 91,06	Aluvijalna ravan, humoglej, oranice	Horgoška peščara, arenosol, vinograd
Prah [%]	-	1,76 – 44,64	Horgoška peščara, arenosol, vinograd	Aluvijalna ravan, pseudoglej, šuma
Ukupan N [%]	0,021 – 0,27	0,097 – 0,378	Deliblatska lesna zaravan, černoziem, oranice	Banatska lesna terasa, solonjec, pašnjak
pH H ₂ O	6,03 – 9,37	6,64 – 8,41	Aluvijalna ravan, pseudoglej, šuma	Horgoška peščara, arenosol, vinograd
P ₂ O ₅ [mg/100g]	2,5 – 135,6	3,8 – 116,0	Banatska lesna terasa, solonjec, pašnjak	Banatska lesna terasa, černoziem, oranice
K ₂ O [mg/100g]	9 - 70	10,9 – 68,0	Horgoška peščara, arenosol, vinograd	Aluvijalna ravan, fluvisol, pašnjak



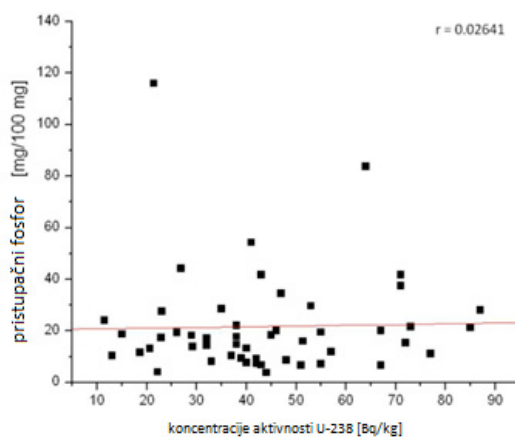
Slika 3. Korelacije između sadržaja humusa i koncentracije aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K i ^{137}Cs



Slika 4. Korelacija između sadržaja praha i koncentracije aktivnosti ^{137}Cs



Slika 5. Korelacije između sadržaja gline i koncentracije aktivnosti ^{226}Ra , ^{40}K i ^{137}Cs



Slika 6. Korelacije između sadržaja pristupačnog fosfora i koncentracije aktivnosti ^{238}U

Rezultati istraživanja pokazuju da procesi pedogeneze zemljišta i način korišćenja imaju dominantnu ulogu u obrazovanju njegovih osobina. Nadmorska visina, odnosno uticaj visine podzemne vode i uopšte vodnog režima uticao je da globalno, na području bačke lesne zaravni imamo viši sadržaj humusa i pristupačnog fosfora u černoze mu, nego na

istom tipu zemljišta formiranom na lesnoj terasi. Obrazovanje černoze na banatskoj terasi pokazuje sličan sadržaj humusa, kao na bačkoj terasi. Černozemi obrazovani na pesku, odlikuju se smanjenim sadržajem fosfora i organske materije (tabela 2). Uticaj lesne zaravni Fruške Gore ogleda se u smanjenom sadržaju pristupačnog fosfora u odnosu na černozem obrazovan na sremskoj lesnoj terasi. Efekat sadržaja organske materije u zemljištu na sadržaj radionuklida je analiziran kroz linearne korelacije (slika 3) i utvrđeno je da je humus pozitivno koreliran sa koncentracijama aktivnosti ^{137}Cs (koeficijent korelacije $r = 0,26309$) što se slaže sa sličnim istraživanjima u regionu [16]. Dalje analize potvrdile su da prisustvo gline daje najveći doprinos sadržaju radionuklida u zemljištu (slika 5) što se objašnjava vezivanjem radionuklida na površini gline ili unutar same rešetke [5]. Najbolje korelacije su dobijene između sadržaja gline i koncentracije aktivnosti ^{40}K ($r = 0,65346$). U nekim analiziranim uzorcima zemljišta sadržaj gline je bio nedovoljan (oko 10%) da bi doveo do značajnih korelacija sa sadržajem radionuklida. Uočeno je da koncentracija cezijuma ^{137}Cs bolje korelira sa komponentom praha u uzorcima zemljišta (slika 4). Velike razlike u sadržaju pristupačnih oblika fosfora i kalijuma su rezultat antropogenog uticaja, odnosno prekomerne primene prvenstveno NPK mineralnih đubriva. Međutim, arenosoli obrazovani u horgoškoj peščari odlikuju se prirodno veoma niskim sadržajem pristupačnog fosfora i kalijuma, bez obzira što predstavljaju veoma pogodna zemljišta za voćarsko vinogradarsku proizvodnju. Vrednosti pristupačnog fosfora su ravnomerno rasute oko srednje vrednosti 20 mg/100mg za bilo koju vrednost aktivnosti ^{238}U , što se ogleda i u koeficijentu $r=0,02641$ (slika 6).

4. ZAKLJUČAK

Glavni zaključak ovih istraživanja je da izmerene maksimalne koncentracije aktivnosti radionuklida: ^{238}U (87 Bq/kg), ^{226}Ra (44,7 Bq/kg), ^{232}Th (55,5 Bq/kg) i ^{137}Cs (29 Bq/kg) u profilu zemljišta dubine 30 cm ne ugrožavaju bezbednost proizvodnje hrane na ovom zemljištu. Utvrđena je najveća zavisnost koncentracije aktivnosti kalijuma ^{40}K od sadržaja gline u poljoprivrednom zemljištu. Skoro uniformna raspodela ^{137}Cs po dubini za poljoprivredna zemljišta je potvrđena ovim istraživanjem i objašnjena mehaničkom obradom. Antropogeni uticaj se ogleda u činjenici da isti tipovi zemljišta sadrže različite koncentracije radionuklida i sadržaje pristupačnog oblika fosfora što se može objasniti neadekvatnom upotrebom fosfatnih đubriva što potvrđuje i dobijena dobra korelacija između pristupačnog fosfora i koncentracije aktivnosti uranijuma u zemljištu. Ovi rezultati na poljoprivrednom vojvođanskom zemljištu pokazuju neophodnost primene sistema kontrole plodnosti zemljišta sa ciljem očuvanja zemljišta, racionalnog đubrenja i povećanja profitabilnosti proizvodnje. Pošto se odnos ^{238}U i ^{226}Ra ne menja bitno u ispitivanim uzorcima zemljišta, može se zaključiti da nema indikacije za prisustvo osiromašenog uranijuma.

5. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju na finansijskog podršci Pokrajinskom sekretarijatu za zaštitu životne sredine i održivog razvoja i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u okviru projekata OI171002 i III43002.

6. LITERATURA

- [1] Andrejeva, O.S., Badjin, V.I., Kornilov, A.N., 1987. *Natural and depleted uranium*. Atomizdat, Moscow (in Russian)
- [2] Kikoina, I.K., 1976. *Tables of physical constants*. Atomizdat, Moscow (in Russian)
- [3] Krstić D. et al., Vertical profile of ^{137}Cs in soil. *Appl. Radiat. Isotopes*. 61, 2004, 1487 – 1492
- [4] Szerbin P. et al., Caesium-137 migration in Hungarian soils. *Sci. Total Environ.* 227, 1999, 215-227
- [5] Navas A. et al., Spatial distribution of natural and artificial radionuclides at the catchment scale (South Central Pyrenees). *Radiat. Meas.* 46, 2011, 261-269
- [6] Koch-Steindl H., Prohl G., Considerations on the behavior of long-lived radionuclides in the soil. *Rad. Environ. Biophys.* 40, 2001, 93-104
- [7] Takeda A. et al., Accumulation of uranium derived from long term fertilizer applications in a cultivated Andisol. *Sci Total Environ.* 367, 2006, 924-931
- [8] Bikit, I. et al., 2005. Radioactivity of the soil in Vojvodina (Northern Province of Serbia and Montenegro), *J. Environ. Radioactiv.* 78, 11-19
- [9] Koščal, M., Menković, Lj., Knežević, M., Mijatović, M., (2005): Geomorfološka karta Vojvodine sa tumačem. Geozavod – Gemini, Beograd
- [10] IUSS Working Group WRB, 2014: World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- [11] Živković, et al. (1972): Zemljišta Vojvodine : Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad 1-684
- [12] Marković, S.B. Bokhorst, M, Vandenberghe, J., Oches, E.A., Zöller, L., McCoy, W.D., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Hambach, U., Machalet, B. 2008. Late Pleistocene loess-paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia. *Journal of Quaternary Science* 23, 73-84.
- [13] I.Bikit et al., *Simple Method for Depleted Uranium Determination*, Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) (2003) 5269-5273
- [14] Vukašinović I., 2010. Distribution of natural radionuclides in anthrosol-type soil. *Turk.J.Agric. For.* 34, 539-546
- [15] Milenkovic B., 2015. Radioactivity levels and heavy metals in the urban soil of Central Serbia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 16732-16741
- [16] Dragović et al., 2012. Edaphic factors affecting the vertical distribution of radionuclides in the different soil types of Belgrade, Serbia. *J.Environ.Monit.* 14, 127-137

INVESTIGATIONS OF POSSIBLE CORRELATIONS BETWEEN RADIONUCLIDES CONTENT AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF VOJVODINA SOIL

**Sofija FORKAPIĆ¹, Jovica VASIN², Ištvan BIKIT¹, Dušan MRĐA¹, Kristina
BIKIT¹, Stanko MILIĆ²**

1) *University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia, sofija@df.uns.ac.rs*

2) *Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia,
jovica.vasin@ifvcns.ns.ac.rs*

ABSTRACT

In this paper, we performed, for the first time, detailed study of Vojvodina's soil in order to explore possible correlations of soil geochemical characteristics and radionuclide activity concentrations. The aim of this study is to analyze the content of natural radioisotopes ²³⁸U, ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K, as well as artificial radioisotope ¹³⁷Cs in all soil types originated from the same parent material – loess. The sampling locations were selected so that they are proportionately represented all geomorphological units: two mountains, four loess plateaus, three loess terraces, four alluvial plains, two sandstone terrains. The process of genesis of soil and cultivation mode plays a dominant role on the characteristics of the soil. However intensive agricultural production and the use of high mineral fertilizers have caused that the same type of soil contains different concentrations of available phosphorus and radionuclides. Comparison of activity concentrations between different types of soil confirmed that the presence of clay mostly contributes to radionuclides content in the soil. The main conclusion is that measured maximal activity concentrations for ²³⁸U (87 Bq/kg), ²²⁶Ra (44.7 Bq/kg), ²³²Th (55.5 Bq/kg) and ¹³⁷Cs (29 Bq/kg) at 30 cm depth could not endanger the safety of food production.