

Masena koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u zemljištu rejona Dobra, NP Đerdap, u periodu od 2018-2020. godine

Mass concentration of potassium, thorium and uranium in the soil of the region Dobra, NP Đerdap, in period 2018-2020 years

Ana A. Čučulović^{1}, Jelena N. Stanojković², Rodoljub D. Čučulović³,
Saša M. Nestorović⁴, Nenad Z. Radaković⁵*

^{1,2}Univerzitet u Beogradu, Institut za primenu nuklearne energije - INEP, Banatska 31b, 11080 Zemun, Srbija /
University of Belgrade, Institute for the Application of Nuclear Energy - INEP, Banatska 31b, Zemun, Serbia

³Univerzitet MB, Poslovni i pravni fakultet, Teodora Dražera 27, 11000 Beograd, Srbija /
University MB, Faculty of Business and Law, Teodora Dražera 27, 11000 Belgrade, Serbia

^{4,5}Javno preduzeće NP Đerdap, Kralja Petra I 14a, 19220 Donji Milanovac, Srbija /
Public Company Đerdap Nationalni Park, Kralja Petra I 14a, 19220 Donji Milanovac, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 04.04.2022, Rad prihvaćen / Accepted: 10.05.2022.

Sažetak: Uzorci zemljišta (39) sakupljeni su juna u periodu od 2018. do 2020. godine na teritoriji Nacionalnog parka Đerdap (rejon Dobra, 4 gazdinske jedinice). U svim uzorcima zemljišta bili su prisutni kalijum, torijum i uranijum. Masene koncentracije kalijuma, torijuma i uranijuma, prikazane u radu, izračunate su na osnovu gamaspektrometrijski izmerenih aktivnosti radionuklida. Srednje vrednosti masenih koncentracija analiziranih elemenata u uzorcima zemljišta u periodu 2018-2020. godine iznosi za kalijum 1,20%, uranijum 2,04 mg kg⁻¹ i torijum 5,41 mg kg⁻¹. Izračunate su jačine apsorbovanih doza gama zračenja koje potiču od aktivnosti radionuklida u zemljištu i ukupne, kao i godišnje efektivne doze koje su u opsegu prosečnih vrednosti u svetu.

Ključne reči: NP Đerdap, Dobra, zemljište, masene koncentracije.

Abstract: Soil samples (39) were collected in June in the period from 2018 to 2020, on the territory of NP Đerdap (from region Dobra, 4 management units). Potassium, thorium and uranium were present in all soil samples. In this study, the mass concentrations of potassium, radium and thorium, were calculated based on specific activities of these radionuclides measured by gamma-ray spectrometry. The mean values of elemental mass concentrations in analyzed soil samples were found to be 1.20% for potassium, 2.04 mg kg⁻¹ for uranium and 5.41 mg kg⁻¹ for thorium. The strength of the absorbed gamma radiation dose originating from the activity of radionuclides in the soil and annual effective dose were determined. Values of the strength of the absorbed gamma radiation dose and annual effective dose from external exposure to gamma radiation based on the content of natural radionuclides in soil were in the range of the expected values and close to the average values in the world.

Keywords: NP Đerdap, Dobra, soil, mass concentration.

¹orcid.org/0000-0001-9315-4559, e-mail: anas@inep.co.rs

²orcid.org/0000-0003-3784-842X, e-mail: jelenas@inep.co.rs

³orcid.org/0000-0003-4472-0424, e-mail: rodoljub_cuculovic@yahoo.com

⁴orcid.org/0000-0002-1990-5606, e-mail: office@npdjerdap.org

⁵orcid.org/0000-0001-9272-0176, e-mail: office@npdjerdap.org

UVOD / INTRODUCTION

Nacionalni park (NP) je zaštićeno područje sa većim brojem raznovrsnih prirodnih ekosistema od nacionalnog značaja, važnih predeonih odlika i kulturnog nasleđa u kome čovek živi u skladu sa prirodom (Sl. glasnik RS, br. 66/91, 83/92, 53/93, 67/93, 48/94, 53/95, 84/15, 95/18). Prvi nacionalni park u svetu je osnovan 1872. godine, na području Jeloustouna (SAD), a u Evropi 1909. godine, na području Sareka (Švedska). Ujedinjene nacije su 1948. godine osnovale Međunarodnu uniju za zaštitu prirode (IUCN).

Srbija se još od XIV veka bavi zaštitom prirode. Na području Srbije, utvrđene su kategorije zaštićenih prirodnih dobara: nacionalni park, rezervat prirode, park prirode, predeo izuzetnih odlika, spomenik prirode, prirodne retkosti Zakonom o nacionalnim parkovima (Sl. glasnik RS, br. 84/2015, 95/2018). Pod zaštitom države Srbije, stavljeno je oko 1300 prirodnih dobara (oko 3,03% teritorije).

Najstariji NP u Srbiji osnovan je 1960. godine (Fruška gora), a zatim su osnovani: Đerdap (1974), Kopaonik (1981), Tara (1981) i Šar-planina (1986). Ovi parkovi obuhvataju površinu od oko 1,75% teritorije Srbije. Početkom 2022. godine, u našoj zemlji pokrenut je postupak zaštite Stare Planine i Kučaj-Beljanice kao nacionalnih parkova. Svi parkovi u Srbiji saraduju sa nezavisnom nevladinom organizacijom EUROPARC - Federacijom prirode i nacionalnih parkova Evrope (<http://www.europarc.org>).

Nacionalni park Đerdap osnovan je radi očuvanja: objekata karstnog reljefa i hidrografije, Đerdapske klisure, kanjona Boljetinske reke, kanjona Brnjice, stanišnih tipova: polidominantnih i osiromašenih reliktnih zajednica, šibljaka, savremenih i drugih tipova šuma; staništa i populacije divlje flore i faune, posebno ptica, sisara i riba; kulturno-istorijskog nasleđa, posebno Golubačkog grada, Lepenskog vira, Trajanove table, Dijane Karataš i zaštite i očuvanja spomen obeležja. Nalazi se u severoistočnom delu Srbije, na granici sa Rumunijom, površine 63350 ha i prostire na nadmorskoj visini od 70 do 806 m. Obuhvata deo područja Đerdapske klisure (Gvozdena vrata) u srednjem toku Dunava, zatim delove masiva Severnog Kučaja, Miroča i Štrbca širine 2-10 km, kao i deo Dunava, koji pripada Republici Srbiji (Sl. glasnik RS, br. 84/2015 i 95/2018). Veoma složen reljef u NP Đerdap, specifična klima, veliki broj reliktnih vrsta i fitocenoza, kao i izvanredna raznovrsnost u pogledu litološkog sastava stena, genetske pripadnosti i geološke starosti, uslovi su i obrazovanje većeg broja tipova zemljišta različitih osobina i proizvodnog potencijala.

Zemljište je jedan od osnovnih uslova za život, najvažnija i najosetljivija komponenta životne sredine, kompleksan, dinamički sistem u kome se istovremeno odvijaju različiti fizičko-hemijski i biološki procesi. Predstavlja složen polidisperzni, heterogeni, sistem sačinjen od dve komponente: mineralne (neorganske) i organske. Mineralna komponenta se sastoji od čestica nastalih erozivnim dejstvom prirodnih faktora na stene, a organska nastaje uglavnom razlaganjem biljnog materijala. Na području NP Đerdap zemljišta pripadaju terestričnim zemljištima (Knežević, 2001; Knežević i dr., 2010).

Stene koje ulaze u sastav zemljine kore poseduju određenu koncentraciju prirodnih radionuklida (uranijuma, radijuma, torijuma i kalijuma) koji se mogu naći i u zemljištu nastalom njihovim raspadaњem i daju najveći doprinos prirodnoj radioaktivnosti (96%) u životnoj sredini (Dangić, 1995; UNSCEAR, 2000). Radionuklidi u zemljištu (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U) formirani u procesu nukleosinteze, pre nekoliko milijardi godina, imaju dugo fizičko vreme poluraspada. Razlikuju se po fizičkim, geohemijskim osobinama, vrstama radioaktivnog raspada, intenzitetima zračenja, izotopskoj obilnosti, načinu pojavljivanja, migraciji i geohemijskim ciklusima (Dangić, 1995). Mobilnost radionuklida u zemljištu zavisi od: svojstva zemljišta, pH, oksidaciono-redukcionih potencijala, koncentracije složenih anjona, poroznosti tla, veličine i sorpcije čestice tla, količine vode na raspolaganju...

Zemljište ponekad može da sadrži povišenu koncentraciju prirodnih radionuklida i zbog: sagorevanja uglja, proizvodnje veštačkih đubriva i đubrenja zemljišta fosfatnim đubrivima, proizvodnje deterđženata, eksploatacije nafte i zemnog gasa. Putem vodotokova i podzemnih voda prirodni radionuklidi mogu da dospeju i u zaštićena područja, kao što su specijalni rezervati prirode i parkovi prirode i da naruše osetljivu ravnotežu flore i faune na ovim lokacijama.

Ponašanje radionuklida zavisi od njihove interakcije sa ostalim komponentama zemljišta, a njihovi međusobni odnosi mogu se koristiti u procenama različitih procesa u zemljištu. Poznavanje distribucije i koncentracije radionuklida igra važnu ulogu u zaštiti od zračenja.

Prirodno jonizujuće zračenje u životnoj sredini izazvano uranijumom, torijumom i kalijumom varira od mesta do mesta, uglavnom zavisi od geologije, odnosno zavisi od koncentracije ovih elemenata u stenama i zemljištu. Prema izveštaju UNSCEAR iz 2000. godine, prosečne masene koncentracije (opseg koncentracija) (mg kg^{-1}) uranijuma, radijuma, torijuma i kalijuma (%) u zemljištima sveta su: 2,82

(1,29-8,87); 3,18 (1,53-5,45); 7,32 (2,68-15,61) i 1,54 (0,54-3,28), redom.

U našoj zemlji vršena su ispitivanja sadržaja radionuklida u zemljištu na mnogim lokalitetima. Tako su istraživanja zemljišta Stare planine pokazala da su vrednosti masenih koncentracija kalijuma, uranijuma i torijuma u opsegu: 1,14-2,44 (srednja 1,76)%; 1,22-2,74 (srednja 1,83) mg kg⁻¹ i 4,10-10,9 (srednja 7,15) mg kg⁻¹, respektivno (Momčilović, Dragović, 2007), a Vojvodine u opsegu 0,76-3,19 (srednja 1,82)%; 0,40-6,45 (srednja 3,39) mg kg⁻¹; 2,85-17,20 (srednja 10,49) mg kg⁻¹, redom (Nikolić, 2011). Naša istraživanja zemljišta u NP Đerdap, u periodu 2015-2016. god., su pokazala da su vrednosti masenih koncentracija kalijuma, radijuma i torijuma u opsegu: od 0,20-2,11%; 1,46-3,47 mg kg⁻¹; 0,46-11,22 mg kg⁻¹ i da su niže od svetskog proseka (Čučulović, 2018; Čučulović, 2019; UNSCEAR, 2000).

Spoljašnje ozračivanje stanovništva, uglavnom, potiče od gama zračenja nastalog raspadima prirodnih radionuklida: uranijuma, torijuma i kalijuma. Navedeni radionuklidi doprinose i unutrašnjem ozračivanju, kada putem lanca ishrane ingestijom ili inhalacijom dospevaju u ljudski organizam i ozračuju različite organe alfa i beta česticama, kao i gama zračenjem. Ostali radionuklidi, prirodnog porekla, zastupljeni su u malim količinama i ne doprinose u velikoj meri dozi stanovništva (Sl. glasnik RS, 86/2011 i 50/2018).

Prosečna vrednost ukupne apsorbovane doze zračenja u svetu iznosi 57 nGy h⁻¹ (UNSCEAR, 2010). Istraživanja su pokazala da u zavisnosti od raznovrsnosti geoloških podloga i tipova zemljišta vrednosti ukupne apsorbovane doze zračenja mogu biti i više od prosečne svetske, na primer u zemljištu Vojvodine (Nikolić, 2011).

Dejstvo zračenja na organizme svodi se na oštećenja pojedinačnih ćelija. Isto zračenje ne uzrokuje isto dejstvo na sve ćelije. Zato se razlikuje osetljivost pojedinih vrsta ćelija na zračenje, kao i individualna osetljivost pojedinih ćelija. Zbog razlike u osetljivosti ćelija velika je razlika u posledicama ozračivanja različitih tkiva, organa i organizama. Poznato je da i male doze zračenja izazivaju štetne efekte kod čoveka. Zato, svako nepotrebno izlaganje zračenju treba izbeći, a neophodno svesti na najmanju moguću meru.

Kontinualno merenje i praćenje nivoa osnovne aktivnosti uzoraka iz životne sredine ima važan značaj sa aspekta zaštite ekosistema, jer je to osnova na kojoj se grade kriterijumi radiološke sigurnosti biosfere. Da bi dobili pravu sliku stanja radioaktivnosti zemljišta, najvažnije i najosetljivije komponenti životne sredine, u NP Đerdap, iz reona Dobra, u

periodu 2018-2020. godine su sakupljeni uzorci zemljišta, a dobijeni rezultati su predstavljeni u ovom radu.

1. MATERIJAL I METODE RADA / MATERIALS AND METHODS

Uzorci zemljišta (39) sakupljeni su u rejonu Dobra, NP Đerdap, sa 4 gazdinske jedinice (GJ) (Čezava, Desna reka, Leva reka i Kožica), do dubine od 10 cm, u junu 2018-2020. godine. Nakon dopremanja uzoraka u laboratoriju, uzorci su očišćeni od vidljivih nečistoća, osušeni, mehanički usitnjeni, homogenizovani i upakovani u Marinelli posude zapremine 0,5 L koje su hermetički zatopljene parafinom i ostavljene da odstoje 40 dana, da bi se uspostavila radioaktivna ravnoteža post-radonskih članova niza ²³⁸U, pre gamaspektrometrijske analize (IAEA, 1989). Masa uzoraka je bila do 600 g. Za određivanje nivoa aktivnosti radionuklida korišćen je poluprovodnički germanijumski detektor visoke čistoće n tipa, proizvođača ORTEC – AMETEK, USA, sa 8192 kanala, rezolucije 1,65 keV i relativne efikasnosti od 34% na 1,33 MeV za ⁶⁰Co. Obrada spektra je vršena pomoću softverskog paketa Gamma Vision 32 (ORTEC, 2001).

Specifične aktivnosti ⁴⁰K, ²³⁸U i ²³²Th konvertovane se u masene koncentracije elemenata kalijuma, uranijuma i torijuma (IAEA, 1989a), respektivno, primenom jednačine (1):

$$F_E = \frac{M_E \times C}{\lambda_{E,i} \times N_A \times f_{E,i} \times A_{E,i}} \quad (1)$$

gde su: F_E - udeo elementa E u uzorku, M_E - atomska masa (kg/mol), $\lambda_{E,i}$ - konstanta radioaktivnog raspada izotopa i elementa E (1/s), $f_{E,i}$ - zastupljenost izotopa i u prirodi, $A_{E,i}$ - izmerena specifična aktivnost (Bq/kg) radionuklida (⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th), N_A - Avogadrov broj ($6,023 \times 10^{23}$ atoma/mol) i C - konstanta sa vrednostima 10^6 za uranijum i torijum (masena koncentracija mg/kg) ili 100 za kalijum (masena koncentracija u %).

Prema preporuci UNSCEAR (UNSCEAR, 2000), na osnovu izmerenih nivoa aktivnosti ($A_{U,Th,K}$) (Bq kg⁻¹) prirodnih radionuklida, u ispitivanim uzorcima zemljišta može se izračunati jačina apsorbovane doze (D) na 1 m iznad tla prema jednačini (2) uz pretpostavku da su svi potomci u ravnoteži sa svojim prekursorima, kao i da radionuklidi nezatno doprinose ukupnoj dozi usled spoljašnjeg izlaganja, korišćenjem faktora konverzije za ²³⁸U, ²³²Th i ⁴⁰K 0,462; 0,604 i 0,042(nGyh⁻¹)/(Bq kg⁻¹) respektivno:

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = 0,462A_U + 0,604A_{Th} + 0,042A_K \quad (2)$$

Znajući ukupnu absorbovanu jačinu doze zračenja (D) može se na osnovu jednačine (3) izračunati godišnja efektivna doza zračenja za odraslu osobu H (mSv)

$$H(\text{mSv}) = D \times 0,7 \times 0,2 \times 8760 \quad (3)$$

gde su: 0,7 (SvGy⁻¹) konverzioni koeficijent (odnos godišnje efektivne doze primljene od strane stanovništva i apsorbovane doze u vazduhu); 0,2 – faktor izloženosti za spoljašnje ozračivanje (pretpostavlja se da stanovništvo provodi u proseku 20% vremena na otvorenom); 8760 – broj časova u jednoj godini (UNCSEAR, 2000).

2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

Prirodna radioaktivnost zemljišta zavisi od vrste zračenja i geološke strukture geološkog prostora. U Tabeli 1 prikazane su masene koncentracije kalijuma (%), uranijuma i torijuma (mg kg⁻¹) u zemljištu, minimalne i maksimalne vrednosti, sakupljenim od 2018. do 2020. godine u rejonu Dobra (NP Đerdap).

U svim uzorcima zemljišta detektovan je ⁴⁰K i iz podataka su preračunate njegove masene koncentracije (%). Analizirajući podatke iz Tabele 1 izračunate su srednje vrednosti masenih koncentracija kalijuma koje su bile u zemljištu sakupljenom 2018. godine 1,38%, 2019. godine 1,14% i 2020. godine 1,04%. Minimalna vrednost kalijuma u zemljištu rejona Dobra zabeležena je 2019. godine od 0,37 % (gazdinska jedinica Desna reka 46a), a maksimalna vrednost 2020. godine 1,97% (gazdinska jedinica Leva reka 29). Srednje vrednosti su opsegu merenja u Srbiji 1,6 % (0,5-2,6%) (Janković i dr. 2017), merenja zemljišta sakupljenog na Staroj planini, Vojvodini i naših prethodnih istraživanja u NP Đerdap (Momčilović, Dragović, 2007; Nikolić, 2011; Čučulović i dr., 2018; Čučulović i dr., 2018a, Čučulović i dr., 2019; Čučulović i dr., 2020). Vrednosti masenih koncentracija kalijuma (%) u rejonu Dobra, GJ Čezava i Kožica, 2018. godine su bile nešto više od prosečne masene koncentracije za kalijum u svetu (1,54%) ali su u opsegu (UNCSEAR, 2000).

Tabela 1 - Masene koncentracije, srednje, minimalne i maksimalne vrednosti kalijuma, uranijuma i torijuma u zemljištu, sakupljenom u periodu 2018-2020. godina u rejonu Dobra

Table 1 - Mass concentrations, mean, minimum and maximum values of potassium, uranium and thorium in soil collected in the period 2018-2020 years in the region of Dobra

GJ* (broj uzoraka)	God.	K (%)		U (mg kg ⁻¹)		Th (mg kg ⁻¹)	
		SV**	Min-max	SV**	Min-max	SV**	Min-max
Čezava (3)	2018.	1,79	1,50-1,96	3,51	2,47-4,83	8,98	6,93-10,51
Desna reka (2)		0,79	0,77-0,82	1,62	0,90-2,35	3,68	2,90-4,44
Leva reka (6)		1,16	0,91-1,51	1,62	1,10-2,53	4,83	3,34-7,37
Kožica (5)		1,63	1,45-1,64	2,54	1,65-2,69	7,24	5,56-8,10
Desna reka (2)	2019.	0,82	0,37-1,28	1,60	0,46-2,74	5,12	1,50-8,71
Leva reka (8)		1,22	1,12-1,44	1,97	1,48-2,63	6,00	5,41-7,05
Čezava (5)	2020.	0,90	0,81-1,04	1,60	0,95-2,78	3,10	2,20-4,29
Leva reka (5)		1,22	0,96-1,97	1,89	1,29-3,36	4,49	3,54-9,56
Kožica (3)		0,96	0,74-1,14	2,35	1,53-3,23	5,54	4,34-7,34

GJ* - gazdinska jedinica, SV** - srednja vrednost

U svim uzorcima zemljišta detektovan je ²³⁸U i iz podataka su preračunate njegove masene koncentracije (mg kg⁻¹). Srednje vrednost masene koncentracije uranijuma u zemljištu rejona Dobra bile su: 2018. godine 2,25 mg kg⁻¹, 2019. godine 1,90 mg kg⁻¹ i 2020. godine 1,89 mg kg⁻¹ i u opsegu su prikazanih vrednosti UNSCEAR-a i u zemljištu sakupljenom na Staroj planini, a niže od srednjih vrednosti masenih koncentracija u zemljištu u različitim gradovima Srbije (2,6 mg kg⁻¹) i Vojvodini (Janković i dr., 2017; Momčilović, Dragović, 2007; Nikolić, 2011; Čučulović i dr., 2018; Čučulović i dr., 2018a; Čučulović i

dr., 2019; Čučulović i dr., 2020). Minimalna vrednost uranijuma u zemljištu rejona Dobra zabeležena je 2019. godine od 0,46 mg kg⁻¹ (Desna reka 46a), a maksimalna vrednost 2020. godine 4,83 mg kg⁻¹ (Čezava 40a).

U svim uzorcima zemljišta detektovan je ²³²Th i iz podataka su preračunate njegove masene koncentracije (mg kg⁻¹). Srednje vrednosti masene koncentracije torijuma u zemljištu rejona Dobra bile su: 2018. godine 6,17 mg kg⁻¹, 2019. godine 5,80 mg kg⁻¹ i 2020. godine 4,20 mg kg⁻¹. Vrednosti su nešto više u odnosu na naša prethodna istraživanja, u opsegu

merjenja u različitim gradovima Srbije (8,7 mg kg⁻¹) i u opsegu merjenja u svetu i niže u odnosu na zemljište sakupljenom na Staroj planini i Vojvodini. (Janković i dr., 2017; Momčilović, Dragović, 2007;

Nikolić, 2011; Čučulović i dr., 2018; Čučulović i dr. 2018a., Čučulović i dr., 2019. Čučulović i dr., 2020; UNCSEAR, 2000).

Tabela 2 - Jačina absorbovane doze kalijuma, uranijuma i torijuma u zemljištu (nGyh⁻¹), sakupljenom u periodu 2018-2020. godina u rejonu Dobra

Table 2 - The strength of the absorbed dose of potassium, uranium and thorium in the soil (nGyh⁻¹), collected in the period 2018-2020 years in the region of Dobra

GJ*	God.	Jačina apsorbovane doze po radionuklidu i ukupna (nGy h ⁻¹)					
		K		U		Th	
		SV**	Min-max	SV**	Min-max	SV**	Min-max
Čezava	2018.	23,52	19,78-25,70	20,10	14,14-27,67	22,23	17,15-26,03
Desna reka		10,42	10,08-10,75	9,29	5,13-13,44	9,12	7,19-10,99
Leva reka		15,29	12,01-19,87	9,29	6,33-14,51	11,96	8,27-18,24
Kožica		21,46	19,11-21,59	14,55	9,42-15,38	17,94	13,77-20,05
Desna reka	2019.	10,84	4,83-16,80	9,15	2,61-15,71	12,68	3,71-21,56
Leva reka		16,00	14,70-18,98	11,27	8,50-15,06	14,86	13,41-17,46
Čezava	2020.	11,89	10,67-13,65	9,19	5,45-15,94	7,67	5,44-10,63
Leva reka		16,04	12,68-25,91	10,81	7,39-19,27	11,11	8,76-23,68
Kožica		12,64	9,79-14,95	13,49	7,62-18,53	13,71	10,75-18,18

GJ* - gazdinska jedinica, SV** - srednja vrednost

Vrednosti Pirsonovih koeficijenata među radionuklidima u zemljištu su: K-Th (0,810) što ukazuje na veoma visoku korelaciju i njihovu jaku poveza-

nost; a K-U (0,625) i U-Th (0,794) na visoku korelaciju povezanost.

Tabela 3 - Ukupna jačina apsorbovane doze (nGyh⁻¹) i godišnja efektivna doza (mSv) sakupljenom u periodu 2018-2020. godina u rejonu Dobra

Table 3 - Total strength of absorbed dose (nGyh⁻¹) and annual effective dose (mSv) collected in the period 2018-2020 years in the Dobra region

GJ*	God.	Ukupna jačina apsorbovane doze i godišnja efektivna doza			
		D (nGy h ⁻¹)		H (mSv)	
		SV**	Min-max	SV**	Min-max
Čezava	2018.	65,85	51,07-76,14	0,076	0,063-0,093
Desna reka		28,83	23,07-34,52	0,035	0,028-0,042
Leva reka		36,54	29,50-52,62	0,045	0,036-0,065
Kožica		53,95	45,48-57,02	0,062	0,056-0,070
Desna reka	2019.	32,67	11,15-54,07	0,040	0,014-0,066
Leva reka		42,13	36,61-47,14	0,052	0,045-0,058
Čezava	2020.	28,75	23,28-40,22	0,035	0,029-0,049
Leva reka		37,96	32,57-68,86	0,055	0,040-0,084
Kožica		39,84	45,48-57,02	0,049	0,040-0,057

GJ* - gazdinska jedinica, SV** - srednja vrednost

Na osnovu jednačine (2) izračunata je apsorbovana jačina doza zračenja po radionuklidu (nGyh⁻¹), što je prikazano u Tabeli 2.

Srednje vrednosti jačine apsorbovane doze zračenja (nGyh⁻¹) kalijuma, uranijuma i torijuma u

zemljištu sakupljenom na teritoriji rejona Dobra bile su: 2018. godine 18,14; 12,89 i 15,28; 2019. 14,95; 10,86 i 14,38 i 2020. godine 13,65; 10,81 i 10,39 respektivno.

Srednja vrednost ukupne jačine apsorbovane doze u zemljištu sakupljenom 2018. godine je bila 46,31; 2019. godine 40,19 i 2020. godine 34,85 nGyh⁻¹. Ove vrednosti nešto niže od svetske prosečne vrednosti 57 nGyh⁻¹ (UNSCEAR, 2010) U zemljištu Rimski šančevi (Vojvodina) vrednost je bila viša od svetske (78,2 nGyh⁻¹) (Sarap et al., 2016)

Znajući D(nGyh⁻¹), a na osnovu jednačine (3) izračunate su srednje godišnje efektivne doze zračenja u reonu Dobra: 2018. godine 0,056 mSv, 2019. godine 0,049 mSv, 2020. godine 0,046 mSv. Ove vrednosti su manje od srednje na svetskom nivou (0,070 mSv). Na osnovu Pravilnika o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Službeni glasnik RS, 86/2011, 50/2018) godišnja efektivna doza za stanovništvo je uvećana ukoliko je veća od 1 mSv za godinu dana. Iz rezultata srednjih vrednosti, zaključuje se da je efektivna doza za stanovništvo reona Dobra niska.

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

U svim uzorcima zemljišta bili su prisutni prirodni radionuklidi: kalijum, uranijum i torijum.

Prosečna vrednost masene koncentracije kalijuma u uzorcima zemljišta sakupljenim od 2018. do 2020. godine u reonu Dobra je 1,20 %, uranijuma 2,04 mg kg⁻¹, torijuma 5,41 mg kg⁻¹.

Vrednosti Pirsonovih koeficijenata među radionuklidima u zemljištu ukazuju na veoma visoku, jaku i visoku korelaciju.

Jačine apsorbovanih doza gama zračenja koje potiču od aktivnosti radionuklida u zemljištu i godišnje efektivne doze su u opsegu prosečnih vrednosti u svetu.

Efektivna doza za stanovništvo rejona Dobra je niska.

Zahvalnica / Acknowledgments

Istraživanja predstavljena u ovom radu su obavljena uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučno istraživačkog rada na Univerzitetu u Beogradu, Institut za primenu nuklearne energije - INEP, prema ugovoru sa evidencijskim brojem 451-03-68/2022-14/200019.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1991). *Službeni glasnik Republike Srbije* br. 66.
- [2] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1992). *Službeni glasnik Republike Srbije* br 83.
- [3] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1993). *Službeni glasnik Republike Srbije* br 53.
- [4] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1993). *Službeni glasnik Republike Srbije* br 67.
- [5] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1994). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 48.
- [6] Zakon o zaštiti životne sredine Srbije. (1995). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 53.
- [7] Zakon o nacionalnim parkovima na području Srbije. (2015). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 84.
- [8] Zakon o nacionalnim parkovima na području Srbije. (2018). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 95.
- [9] EUROPARKC FEDERATION, <http://www.europarc.org>.
- [10] Knežević, M. (2001). Zemljišta Nacionalnog parka Đerdap. U: Medarević, M., *Šume Đerdapa*. JP Nacionalni park Đerdap. Donji Milanovac.
- [11] Knežević, M., Milošević, R., Košanin, O. (2010). Production potential of the soil and the basic elements of productivity of the most widely spread sessil types in the U.N.P. Đerdap. *Glasnik šumarskog fakulteta*, 102, 57-68.
- [12] Dangić, A. (1995). *Geohemijski procesi u prirodi i radionuklidi. Jonizujuća zračenje iz prirode*. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja. Institut za nuklearne nauke Vinča. Beograd, 41-56.
- [13] UNSCEAR. (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York.
- [14] Momčilović, M., Dragović, S. (2007). Radioaktivnost zemljišta severozapadnog dela Stare planine. Zlatibor (Srbija). 3-5 Oct 2007. *Zbornik radova sa 24. Simpozijuma Društva za zastitu od zracenja Srbije i Crne Gore*. 29-32.
- [15] Nikolić, V. (2011). *Radioaktivnost zemljišta Vojvodine*. Prirodno-matematički fakultet. Departman za fiziku. Univerzitet u Novom Sadu. Diplomski rad.
- [16] Čučulović, A., Čučulović, R., Nestorović, S., Radaković, N., Veselinović, D. (2018). Radioactivity in soil from NP Đerdap in 2015 and 2016. *26th International Conference Ecological Truth & Environmental Research Eco-Ter 18*. Proceedings. Bor Lake. Serbia. 12-15 June 2018. 140-145.
- [17] Čučulović, A., Čučulović, R., Nestorović, S., Radaković, N., Veselinović, D. (2018a). Radioactivity in soil and mosses from NP Đerdap in 2017, *PHYSICAL CHEMISTRY 2018, 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry*, Proceedings, Volume II, Belgrade, 2018, K-14-P, 821-824
- [18] Čučulović, A., Stanojković, J., Čučulović, R., Nestorović, S., Radaković, N., Veselinović, D. (2019). Nivoi aktivnosti ¹³⁷Cs i ⁴⁰K u zemljištu

- sakupljenom 2018. godine u NP Đerdap. *Ecologica*. 94(26), 136-140.
- [19] Čučulović A., Stanojković J., Čučulović, R., Nestorović S., Radaković N., Veselinović D., (2020). Raspodela masenih koncentracija kalijuma, radijuma i torijuma u zemljištu rejonu Dobra i Donji Milanovac, NP Đerdap. *Ecologica*. 98(27), 293-298.
- [20] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima. (2011). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 86.
- [21] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima. (2018). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 50.
- [22] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2010). *Sources and effects of ionising radiation*. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I. United Nations. New York.
- [23] IAEA (International Atomic Energy Agency). (1989). *Mesurement of Radionuclides in Food and the Environment*. Vienna. Technical Report Series No. 295.
- [24] ORTEC. (2001). Gamma Vision 32. *Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulation*. ORTEC. Oak Ridge. Version 5.3.
- [25] IAEA (International Atomic Energy Agency). (1989a). *Construction and use of calibration facilities for radiometric field equipment*. Vienna. Technical Report Series No. 309.
- [26] Janković, Lj., Petrović, J., Čujić, M., Dragović, S. (2017). Distribucija masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u zemljištu sa teritorija većih gradova Srbije, *XXIX Simpozijum DZZSCG, Srebrno jezero*, 27-29. Septembra 2017, 87-91.
- [27] Sarap, N., Rajačić, M., Đalović, I., Šeremešić, S., Đorđević, A., Janković, M., Daković, M. (2016). Distribution of natural and artificial radionuclides in chernozem soil/crop system from stationary experiments. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(17), 17761-17773. DOI 10.1007/s11356-016-6938-0.