

**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.

RADIOAKTIVNOST U MAHOVINAMA I LIŠAJEVIMA SAKUPLJENIM 2015. GODINE U NP ĐERDAP

Ana ČUČULOVIĆ¹, Rodoljub ČUČULOVIĆ², Saša NESTOROVIĆ³ i Dragan VESELINOVIĆ⁴

- 1) Univerzitet u Beogradu, INEP, Institut za primenu nuklearne energije, Zemun, Srbija, anas@inep.co.rs
- 2) Visoka poslovna škola strukovnih studija, Leskovac, Srbija
- 3) Nacionalni park Đerdap, Donji Milanovac, Srbija
- 4) Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, P.P.47, Srbija

SADRŽAJ

U radu su prikazani nivoi aktivnosti prirodnih radionuklida (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U) i veštački proizvedenog ^{137}Cs u uzorcima mahovina (28) i lišajeva (17) sakupljenim na teritoriji Nacionalnog parka Đerdap u maju 2015. godine. U svim uzorcima mahovina i lišajeva utvrđeno je prisustvo radionuklida. Dobijeni rezultati upućuju na zaključak da su mahovine i lišajevi dobri biomonitori i bioindikatori radiozagađenja životne sredine, kao i da je neophodno pratiti nivoje aktivnosti radionuklida u njima zbog mogućeg radijacionog rizika organizama koji ih koriste za ishranu ili upotrebljavaju za neku drugu svrhu.

1. UVOD

Nacionalni parkovi su izdvojena područja posebnih prirodnih vrednosti, karakteristična za određenu geografsku regiju, područje ili zemlju u celini. Nacionalni park (NP) Đerdap je jedan od najmlađih u Srbiji i obuhvata površinu od 63.680,45 hektara. Nalazi u severoistočnom delu Republike Srbije, na samoj međunarodnoj granici sa Rumunijom. Prostor NP Đerdapa se izdvaja kao jedinstven evropski rezervat tercijarne flore, vegetacije i faune [1].

Mahovine i lišajevi su primitivni organizmi sa posebnom građom (nemaju koren, stablo, list i imaju veliku površinu tela) i specifičnom ekologijom u odnosu na više biljke. Njihova dugovečnost, fiziološka aktivnost u povoljnim uslovima i nezavisno od godišnjeg doba, neodbacivanje starih delova i akumulacija mnogih materija u talusu, široka rasprostranjenost, čini ih dobrim bioindikatorima i biomonitorima zagađujućih supstanci. Mahovine i lišajevi reaguju na promenu hemijskog sastava životne sredine, sadrže informacije o njenom kvalitetu, ukazuju na prisustvo zagađujućih supstanci iz atmosfere i obezbeđuju informacije za kvantitativnu karakterizaciju životne sredine ili promena u njoj. Na koncentraciju zagađujućih supstanci u mahovinama i lišajevima utiču mnogi faktori kao što su: mikroklimatski, nadmorska visina, svetlost, karakteristika podloge, prirodni biogehemijski ciklični procesi, starost i morfologija biljke, stopa rasta biljke, količina ispuštenih i istaloženih zagađujućih supstanci, fizičko-hemijske osobine zagađujućih supstanci, režim i oblik vodosnabdevanja, hemijski sastav, pH substrata na kome rastu. Lišajevi i mahovine su najjeftiniji biomonitori zagađivanja životne sredine [2-8].

U životnoj sredini zastupljena su jonizujuća zračenja različitog porekla i karakteristika koji procesima migracije i nakupljanja dospevaju u zemlju i vodu, a preko njih u namirnice biljnog i životinjskog porekla i doprinose ukupnom ozračivanju ljudi koji žive na određenoj teritoriji [9].

Jonizujuća zračenja prema mestu nastanka mogu biti zemaljskog i kosmičkog porekla. Izvori jonizujućih zračenja prema svojoj genezi i pojavljivanju u životnoj sredini mogu biti:

- a) prirodni (praiskonski ili terestrijalni, kosmogeni i kosmičko zračenje);
- b) antropogeni (radioaktivne padavine i medicinsko tehnogeni) i
- c) radioaktivni otpad.

Praiskonski radionuklidi (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{40}K ...) su najznačajniji izvori jonizujućeg zračenja u životnoj sredini, imaju dugo fizičko vreme poluraspada (10^5 - 10^{16} godina) i značajno se razlikuju po svojim fizičkim i geohemijskim osobinama. Najznačajniji prirodni radionuklidi koji se nalaze u zemljinoj kori su uran, torijum i potomci njihovog raspadanja.

U prirodi se uran javlja kao smeša tri dugoživeća izotopa 99,28% ^{238}U (fizičko vreme poluraspada ($T_{1/2}$) = $4,5 \times 10^9$ god, biološko vreme poluraspada (T_b) od 1-500 dana), 0,71% ^{235}U ($T_{1/2}$ = $7,1 \times 10^8$ god) i 0,006% ^{234}U ($T_{1/2}$ = $2,5 \times 10^5$ god). Njegova koncentracija u zemljištu veoma se razlikuje u pojedinim delovima sveta.

Radioaktivnim raspadom ^{238}U nastaje ^{226}Ra ($T_{1/2}$ = 1600 godina, T_b = 7-45 godina). Jedan je od toksičnijih radionuklida, jer u organizmu prati kalcijum, ugrađuje se u kosti i deponovan tamo ozračuje koštano tkivo i može da izazove sarkom kostiju. Sa godinama se količina ^{226}Ra u organizmu povećava [10]. U različitim količinama ^{226}Ra ima u skoro svim vrstama stena i zemljištu koje sadrži prirodni uran.

U biosferije slabo zastupljen ^{232}Th ($T_{1/2}$ = $1,6 \times 10^{10}$ god). Minerali torijuma (Th) (torit ThSiO_4) i urana (U) (otenit $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$; uranit UO_2 i torbernit $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$) pripadaju aktinidnim mineralima koji su prisutni u permatitima i granodioritima.

Mahovine i lišajevi uran i torijum iz prašine (zemljišta) dobijaju suvom depozicijom i nivo aktivnosti ova dva radionuklida u mahovinama zavisi od strukture zemljišta.

Kalijum je najrasprostranjeniji element u životnoj sredini i ulazi u sastav svih živih organizama. Kalijum-40 je esencijalni prirodni radionuklid ($T_{1/2}$ = $1,25 \times 10^9$ godina, T_b = 58 dana), u prirodi se nalazi u smeši sa stabilnim izotopima kalijuma ^{39}K i ^{41}K (0,0117% od ukupnog kalijuma u prirodi). Kalijum-40 je životno važan element i biljke ga usvajaju iz prirode, a ulazi u sastav i čovekovog organizma i nalazi se pod homeostatskom kontrolom [10]. Mahovine i lišajevi kalijum, a samim tim i ^{40}K , dobijaju iz vazduha, a i iz zemljišta, najverovatnije procesom suve depozicije, i ugrađuju ga u svoja tkiva. U zavisnosti od hemijskog sastava zemljišta, njegove strukture, pH i vlažnosti radionuklidi se vezuju u zemljište, a zatim iz zemljišta prelaze u biljke.

Kosmogeni radionuklidi (^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{32}Si , ^{36}Cl ...) zbog svojih malih koncentracija, relativno kratkih vremena poluraspada i niskih intenziteta zračenja imaju mali značaj u ukupnom ozračivanju stanovništva.

Antropogeni radionuklidi (^3H , ^{131}I , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{239}Pu ...) su pojačani ili stvoreni usled ljudske aktivnosti. Različitog su vremena poluraspada i nastanka. Zagađenje ovim radionuklidima je uglavnom regionalnog karaktera (Kištim-SSSR (29.9.1957), Vindskejl – V. Britanija (8.10.1957), Ostrvo Tri Milje – SAD (28.3.1979)), ali može da bude i širih razmera u slučaju snažnih nuklearnih eksplozija (Černobilj) [11,12]. Akcidentom u Černobilju (26.4.1986., Ukrajina) u životnu sredinu je otpuštena velika količina radionuklida od čega $3,7 \times 10^{16}$ Bq ^{137}Cs . Radiocezijum - 137 može da nastane kao fisioni produkt, da bude proizveden u procesu proizvodnje i testiranja nuklearnog oružja i u nuklearnim reaktorima. Proces usvajanja cezijuma iz spoljašnje sredine mogu biti:

fizička i hemijska sorpcija i jonska izmena. Soli ovog radionuklida su lako rastvorljive i zbog toga joni Cs^+ lako mogu da dospeju u biljke i zemljište. Najčešće do biljaka dospeva suvim (prašina) i vlažnim padavinama (kiša, sneg, rosa, magla i drugi izvori padavina). ^{137}Cs je toksičan element, a fizičko-hemijske karakteristike su mu takve da se aktivno uključuje u lanac ishrane ljudi i životinja preko biljaka, jer metabolitički zamenjuje kalijum [13]. Zagađenje biljaka ovim radionuklidom zavisi od više faktora: fizičko-hemijskih osobina zemljišta (kapacitet adsorpcije i sadržaj razmenljivih katjona, mineraloški i mehanički sastav, kiselost zemljišta, sadržaj organskih materija i radionuklida u zemljištu), vazduha i vode; fiziološko-morfoloških osobina biljaka; fizičko-hemijskih osobina biljaka; načina uzgajanja biljaka (primena ili ne agrotehničkih mera); mikro klimatskih uslova na ugroženom lokalitetu.

Prva istraživanja akumulacije minerala u talusima lišajeva i mahovina bila su vršena krajem pedesetih godina XX veka. Kasnija istraživanja su zasnovana na određivanju radionuklida u lišajevima i njihovom poređenju sa nivoima aktivnosti u drugom bilju. U Jugoslaviji su se istraživači do akcidenta u Černobilju malo bavili lišajevima i mahovinama kao bioindikatorima radioaktivnog zagađenja životne sredine. Podaci o nivou aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima lišajeva i mahovina iz sedam lovišta sa teritorije BiH iz 1980. godine govore da su nivoi aktivnosti u lišajevima viši nego u mahovinama datog područja. U lišajevima je srednji nivo aktivnosti ^{137}Cs bio 580 Bq/kg, a u mahovina 422 Bq/kg. Nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima i mahovinama sakupljenim u istim lovištima je praćen i 1985. godine. Srednji nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima je bio 613 Bq/kg (397 - 696 Bq/kg), a u mahovinama 429 Bq/kg (267 - 508 Bq/kg) [14,15].

Zbog velike upotrebe i primene mahovina i lišajeva, kako u industriji, medicini, farmaciji, tako i za ishranu ljudi i životinja, postoji opasnost od radijacionog opterećenja organizama koji ih upotrebljavaju [16,17].

Monitoring radioaktivnosti je potreban i značajan da bi se ostvarila zaštita životne sredine, kao i radiološka zaštita stanovništva određene oblasti.

2. MATERIJAL I METODE

Uzorci mahovina i lišajeva sakupljeni su metodom slučajnog uzorka u Nacionalnom Parku Đerdap 2015. godine. Nakon dopremanja uzoraka u laboratoriju, uzorci su očišćeni od vidljivih nečistoća (zemlje, trave, iglica), osušeni, homogenizovani i upakovani u Marinelli posude zapremine 1L, koje su zatim zatopljene parafinom i ostavljene da odstoje najmanje četiri nedelje kako bi se uspostavila radioaktivna ravnoteža između ^{226}Ra , ^{222}Rn i njihovih kratkoživećih potomaka. Masa uzoraka je bila do 120g.

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 ^{60}Co . Kalibracija efikasnosti i energije detektora izvršena je od strane Departmana za Fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu. Svi uzorci su mereni 60000 s.

Nivo aktivnosti ^{238}U je određen na osnovu gama linija: ^{234}Th (63 i 93 keV) i ^{234}Pa (1001 keV). Nivo aktivnost ^{226}Ra je određen na osnovu gama linija: ^{214}Bi (609, 1120 i 1764 keV) i ^{214}Pb (295 i 352 keV). Nivo aktivnost ^{232}Th je određen na osnovu gama linija ^{228}Ac (338, 911 i 969 keV). Aktivnost ^{40}K određena je na osnovu gama linije na 1460 keV, a ^{137}Cs na osnovu gama linije na 661,6 keV.

Obrada spektra je vršena pomoću softverskog paketa Gamma Vision 32 [18]. Relativna merna nesigurnost pripreme uzorka i merenja je do 10%.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabelama 1 i 2. prikazani su nivoi aktivnosti ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U (Bq/kg) u uzorcima mahovina i lišajeva sakupljenih 2015. godine u NP Đerdap. Iz tabela sledi da su u svim uzorcima mahovina i lišajeva prisutni i veštački (^{137}Cs) i prirodni radionuklidi (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U).

Tabela 1. Nivoi aktivnosti ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U (Bq/kg) u uzorcima mahovina sakupljenih 2015. godine u NP Đerdap

Red. br. uz.	Gazdinska jedinica, odeljenje, (masa uzorka (g))	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{238}U
		(Bq/kg)				
1.	Kožica, 26/a, (78,3)	33,0	93,0	1,2	4,3	11,8
2.	Kožica, 63/a, (79,5)	17,5	113	5,0	5,2	11,2
3.	Leva reka, 27/a, (71,0)	67,0	118	5,9	5,4	15,5
4.	L. reka, 29/a, (61,7)	22,0	124	15,4	4,1	15,2
5.	Čezava, 36/a, (91,1)	44,0	123	2,5	6,4	9,8
6.	Čezava, 37/d, (75,5)	9,4	89,0	12,2	2,4	11,3
7.	Čezava, 40/a, (81,0)	9,2	144	2,3	1,6	11,1
8.	Desna reka, 1/c, (81,6)	22,0	220	1,7	5,1	23,0
9.	D. reka, 47/a, (63,0)	38,0	153	5,2	4,4	17,2
10.	D. reka, 56/b, (85,1)	115	127	12,2	4,8	27,0
11.	Boljetinska reka, 2D, (73,1)	31,0	165	5,4	3,0	11,9
12.	B. reka, 9/c, (105)	39,0	229	12,9	9,3	13,3
13.	B. reka, 10/a, (101)	296	278	13,1	6,2	10,7
14.	Đerdap, 8a, (59,6)	133	152	3,6	4,9	24,0
15.	Đerdap, 41a, (75,5) (71,0)	78,0	120	6,7	4,3	22,1
16.		243	176	10,3	13,8	6,5
17.	Porečke šume, 44, (95,0)	51,0	163	2,3	1,7	16,3
18.	P. šume, 60, (89,5)	50,0	153	4,3	5,2	18,6
19.	Štrbačko korito, 47a, (65,5)	45,0	96,0	0,6	3,0	19,6
20.	Đerdap, 48b, (88,0)	127	124	7,5	5,3	18,8
21.	Đerdap, 67i, (74,9)	151	194	6,0	7,7	13,0
22.	Đerdap, 75b, (107)	226	592	37,0	5,0	51,0
23.	Đerdap, 78f, (62,0)	512	192	16,7	19,3	4,3
24.	Tekija, Dafin, (76,0)	30,0	51,0	10,6	12,3	35,6
25.	Zlatica, 86/a, (74,0)	120	257	14,8	7,9	13,8
26.	Zlatica, 86/b, (85,0)	73,0	125	6,9	15,9	15,6
27.	Crni vrh, (87,0) (78,5)	230	156	8,4	8,8	15,5
28.		303	210	7,6	7,8	27,0

Iz tabela 1, 2 i 3 sledi da su nivoi aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima mahovina od 9,2 (uzorak 7) do 512 Bq/kg (uzorak 23) i u uzorcima lišajeva od 13,5 (uzorak 5) do 287 Bq/kg (uzorak 14). Široki opsezi specifične aktivnosti ^{137}Cs u mahovinama i lišajevima su

posledica neravnomerne kontaminacije teritorije NP Đerdap černobiljskim padavinama, kao i od resuspenzije zemljišta. Nivoi aktivnosti ^{137}Cs u mahovinama i lišajima sakupljenim na teritoriji NP Đerdap 2015. godine ukazuju da novih zagađenja ovim radionuklidom na ispitivanoj teritoriji nije bilo [19-22]. Srednji nivo aktivnosti ^{137}Cs u mahovinama je 111 Bq/kg, a u lišajevima 130 Bq/kg. Srednji nivoi aktivnosti ^{137}Cs u mahovinama i lišajevima sakupljenih na teritoriji NP Đerdap su približno isti i govore u prilog da su i mahovine i lišajevi dobri bioindikator zagađenja životne sredine ovim radionuklidom.

Iz tabela 1, 2 i 3 sledi da su nivoi aktivnosti ^{40}K u uzorcima mahovina od 51,0 (uzorak 24) do 592 Bq/kg (uzorak 22), a u uzorcima lišajeva od 33,0 (uzorak 6) do 109 Bq/kg (uzorak 3). Srednji nivo aktivnosti ^{40}K u mahovinama je 169 Bq/kg; a u lišajevima 69,5 Bq/kg. Ova istraživanja su u pokazala da je nivo aktivnosti ^{40}K u mahovinama NP Đerdap u opsegu naših prethodnih merenja, a i merenja drugih istraživača [23-25]. Uzorci mahovina su 2015. godine sakupljeni sa različitih geoloških podloga i tipova zemljišta i verovatno je to doprinelo širokom opsegu ^{40}K u njima, dok je taj opseg niži u lišajevima koji rastu na drveću. Odnos ^{40}K i ^{137}Cs u uzorcima mahovina je od 0,4 do 15,7, a u lišajevima od 0,2 do 5,0.

Tabela 2. Nivoi aktivnosti ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U (Bq/kg) u uzorcima lišajeva sakupljenih 2015. godine u NP Đerdap

Red. br. uz.	Gazdinska jedinica, odeljenje, (masa uzorka (g))	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{238}U
		(Bq/kg)				
1.	Kožica, 26/a, (85,5)	96,0	97,0	1,9	1,2	11,1
2.	Kožica, 63/a, (110)	115	74,0	1,8	2,2	9,0
3.	Leva reka, 27/a, (117,2)	108	109	5,1	4,5	7,8
4.	L. reka, 29/a, (80,0)	45,0	71,0	4,6	3,5	11,2
5.	Čezava, 46/b, (92,0)	13,5	68,0	2,7	1,6	9,4
6.	D. reka, 52/a, (73,6)	35,0	33,0	21,0	5,7	19,0
7.	Đerdap, 8a, (68,5)	140	77,0	5,5	2,2	19,6
8.	Đerdap, 25a, (94,0)	58,0	41,0	15,4	4,3	10,4
9.	Đerdap, 41a, (103) (76,7)	182	71,0	12,4	5,7	8,1
10.		66,0	89,0	4,7	3,3	13,7
11.	Porečke šume, 44, (113)	66,0	55,0	0,9	2,8	7,2
12.	P. šume, 45, (106)	97,0	62,0	2,4	0,9	6,6
13.	P. šume, 60, (102)	91,0	54,0	4,7	3,6	7,9
14.	Đerdap, 48b, (72,0)	287	69,0	13,9	1,5	13,8
15.	Đerdap, 67i, (79,0)	229	93,0	10,5	3,1	15,8
16.	Đerdap, 75b, (115)	267	55,0	3,7	0,6	3,0
17.	Đerdap, 78f, (104)	277	60,0	5,4	1,9	7,2

Nivoi aktivnosti ^{226}Ra u uzorcima mahovina su od 0,6 (uzorak 19) do 37,0 Bq/kg (uzorak 22), a u uzorcima lišajeva od 0,9 (uzorak 11) do 21,0 Bq/kg (uzorak 6). Uzorci mahovina su 2015. godine sakupljeni sa različitih podloga i verovatno je to doprinelo širokom opsegu ^{226}Ra u njima. Srednji nivo aktivnosti ^{226}Ra u mahovinama je 8,5 Bq/kg; a u lišajevima 7,3 Bq/kg. Ova istraživanja su u pokazala da je nivo aktivnosti

^{226}Ra u mahovinama i lišajevima NP Đerdap u opsegu naših prethodnih merenja, a i merenja drugih istraživača [23-25].

Nivoi aktivnosti ^{232}Th u uzorcima mahovina su od 1,6 (uzorak 7) do 19,3 Bq/kg (uzorak 23), a u uzorcima lišajeva od 0,6 (uzorak 16) do 5,7 Bq/kg (uzorak 9). Srednji nivo aktivnosti ^{232}Th u mahovinama i lišajevima je 6,6 Bq/kg i 2,9 Bq/kg. Nivoi aktivnosti ^{232}Th u ispitivanim uzorcima se slažu sa našim prethodnim merenjima, kao i merenjima drugih istraživača [23-25].

Nivoi aktivnosti ^{238}U u uzorcima mahovina su od 4,3 (uzorak 23) do 51,0 Bq/kg (uzorak 22), a u uzorcima lišajeva od 3,0 (uzorak 16) do 19,6 Bq/kg (uzorak 7). Uzorci mahovina su 2015. godine sakupljeni sa različitih geoloških podloga i tipova zemljišta, pa je mahovina verovatno pasivnim zahvatom minerala putem prašine usvojila ^{238}U u širokom opsegu. Srednji nivo aktivnosti ^{238}U u mahovinama je 17,5 Bq/kg; a u lišajevima 10,6 Bq/kg. Ova istraživanja su u pokazala da je nivo aktivnosti ^{226}Ra u mahovinama i lišajevima NP Đerdap u opsegu naših prethodnih merenja a i merenja drugih istraživača [23-25].

Tabela 3. Nivoi aktivnosti ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U (Bq/kg), minimalni, maksimalni, srednja vrednost, standardna devijacija i medijana u uzorcima mahovina i lišajeva sakupljenih 2015. godine u NP Đerdap

	Min	Max	Sr. vrednost	St. devijacija	Medijana
(Bq/kg)					
mahovina					
^{137}Cs	9,2	512	111	135	70
^{40}K	51	592	169	122	153
^{226}Ra	0,6	37,0	8,5	8,7	7,2
^{232}Th	1,6	19,3	6,6	4,7	5,2
^{238}U	4,3	51,0	17,5	11,1	15,5
lišaj					
^{137}Cs	13,5	287	130	92,8	97
^{40}K	33,0	109	69,5	22,0	69
^{226}Ra	0,9	21,0	7,3	6,3	5,1
^{232}Th	0,6	5,7	2,9	1,7	2,8
^{238}U	3,0	19,6	10,7	4,9	9,4

Tabela 4. Pirsonovi korelacioni koeficijenti za radionuklide u mahovinama/lišajevima sakupljenim 2015. god na teritoriji NP Đerdap

	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{238}U
^{137}Cs	1				
^{40}K	0,413/0,115	1			
^{226}Ra	0,446/0,105	0,757/-0,406	1		
^{232}Th	0,601/-0,334	0,029/-0,132	0,252/0,617	1	
^{238}U	-0,028/-0,147	0,486/0,075	0,476/0,520	-0,157/0,293	1

Pirsonovi korelacioni koeficijenti (tabela 4) za ^{40}K - ^{226}Ra , ^{137}Cs - ^{232}Th , ^{40}K - ^{238}U , ^{226}Ra - ^{238}U u mahovinama iznose 0,757; 0,601; 0,486; 0,476, redom, i ukazuju na slabe i srednje jake međuzavisnosti među posmatranim radionuklidima.

Pirsonovi korelacioni koeficijenti (tabela 4) za ^{226}Ra - ^{232}Th , ^{226}Ra - ^{238}U , ^{40}K - ^{226}Ra , u lišajevima iznose 0,617; 0,520; 0,406 redom u ukazuju na slabe i srednje jake međuzavisnosti među posmatranim radionuklidima.

Kod lišajeva se zapaža neznatna ili relativno slaba korelacija između ^{137}Cs i prirodnih radionuklida.

4. ZAKLJUČAK

Analiziranjem dobijenih rezultata zaključuje se da su u svim uzorcima mahovina i lišajeva sakupljenih 2015. godine u NP Đerdap prisutni veštački radionuklid ^{137}Cs , kao i prirodni radionuklidi (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U).

Nivoi aktivnosti ^{137}Cs su u uzorcima mahovina od 9,2 do 512 Bq/kg i u uzorcima lišajeva od 13,5 do 287 Bq/kg. Prisustvo ^{137}Cs u ispitivanim uzorcima potiče od neravnomerne depozicije černobiljskih padavina i resuspenzije zemljišta.

Nivoi aktivnosti u uzorcima mahovina su: ^{40}K od 51,0 do 592 Bq/kg, ^{226}Ra od 0,6 do 37,0 Bq/kg, ^{232}Th od 1,6 do 19,3 Bq/kg i ^{238}U od 4,3 do 51,0 Bq/kg.

Nivoi aktivnosti u uzorcima lišajeva su: ^{40}K od 33,0 do 109 Bq/kg, ^{226}Ra od 0,9 do 21,0 Bq/kg, ^{232}Th od 0,6 do 5,7 Bq/kg i ^{238}U od 3,0 do 19,6 Bq/kg.

Kod lišajeva se zapaža neznatna ili relativno slaba korelacija između ^{137}Cs i prirodnih radionuklida.

Neophodno je stalno praćenje nivoa aktivnosti radionuklida u bioindikatorima (mahovinama i lišajevima) da bi se na osnovu podataka moglo proceniti stanje životne sredine.

5. ZAHVALNICA

Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat broj: III 43009).

6. LITERATURA

- [1] Grupa autora. NP Đerdap: Pamtnost prirode i čoveka. 1996. Ecolibri. Beograd.
- [2] D.H.S. Richardson. The Biology of Mosses. 1981. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- [3] E.J. Sloof. Environmental lichenology: Biomonitoring Trace-Element air Pollution. *Doctoral thesis*. 1993. Technical University. Delft. The Netherlands.
- [4] V. Ahmadjian. The lichen symbiosis. 1993. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] B. Wolterbeek. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environ. Pollut.* 120, 2002, 11–21.
- [6] A. Čučulović, D. Popović, R. Čučulović, J. Ajtić. Natural radionuclides and ^{137}Cs in moss and lichen in Eastern Serbia. *Nucl. Technol. Radiat. Protect.* Belgrade. 27(1), 2012, 44-51.
- [7] S. Topcuoglu, A.M. Van Dawen, N. Gungor. The natural deputation rate of ^{137}Cs radionuclides in a lichen and moss species. *J. Environ. Radioact.* 29(2), 1995, 157-162.
- [8] G. Jia, D. Desideri, F. Guerra, M.A. Meli, C. Testa. Concentration and vertical distribution of plutonium and americium in Italian mosses and lichens. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 253(3), 1997, 395-406.

- [9] M. Jovanović. Ionizujuća zračenja i životna sredina. 1983. Vojnoizdavački zavod. Beograd.
- [10] I. Gržetić, R.J. Jelenković. Prirodni radioaktivni elementi, geološko poreklo i oblici pojavljivanja i migracije, monografija: Ionizujuća zračenja iz prirode, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, 1995. Institut za nuklearne nauke Vinča. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd, 1995, 3-39.
- [11] N. Xavkes, G. Lean, D. Leigh, R. McKie, P. Pringle, A. Wilson. Najgora nesreća na svijetu, Černobil: kraj nuklearnog sna. 1987. Globus. Zagreb.
- [12] A. Aakrog. The radiological impact of Chernobyl debris compared with from nuclear weapons fallout. *J. Environ. Radioact.* 6, 1988, 151-162.
- [13] B.G. Bennett. Exposures from worldwide releases of radionuclides, Environmental Impact of Radioactive Releases. IAEA. Proceedings of a symposium. 3-12. Vienna. 1995.
- [14] R. Kljajić. Prilog istraživanju bioindikatora radioaktivne kontaminacije fisijom produktima (Cs-137 i Sr-90). *Magistarski rad.* 1981. Veterinarski fakultet. Univerzitet u Sarajevu. Sarajevo.
- [15] L. Saračević, R. Kljajić, A. Mihajl, Z. Milošević. Komparativni prikaz nivoa radioaktivnosti lišaja i mahovine u lovištima BiH prije i poslije havarije u Černobilju. *XV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja.* Priština. 1989. Institut za nuklearne nauke Vinča. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, 1989, 3-6.
- [16] S. Hunec. I. Yoshimura. Identification of lichen substances. 1996. Springer. Berlin Heidelberg.
- [17] P.A. Thomas, T.E. Gates. Radionuclides in the lichen-caribou-human food chain near uranium operations in northern Saskatchewan, Canada. *Environ. Health Perspec.* 107, 1999, 527-537.
- [18] Gamma Vision-32: Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator, Software User's Manuel, ORTEC.
- [19] A. Čučulović, D. Veselinović, Š. Miljanić. Akumulacija radionuklida u bioindikatorima NP Đerdap, Ekološka istina. Zbornik radova Eko Ist 05. Borsko jezero. 2005. Tehnički fakultet u Boru. Univerzitet u Beogradu. 2005, 105-108.
- [20] A. Čučulović, R. Čučulović, S. Nestorović, D. Veselinović. Levels of activity of ^{40}K and ^{137}Cs in samples bioindicators from the national park Djerdap. Ecological truth. Proceedings Eko Ist 11. Bor. 2011. Technical faculty Bor. University of Belgrade. Serbia. 2011. 18-23.
- [21] A. Čučulović, D. Popović, R. Čučulović, J. Ajtić. Natural radionuclides and ^{137}Cs in moss and lichen in Eastern Serbia. *Nucl. Technol. Radiat. Protect.* Belgrade. 27(1), 2012, 44-51.
- [22] A. Čučulović, R. Čučulović, T. Cvetić Antić, D. Veselinović. Mosses as biomonitors for radioactivity following the Chernobyl accident. *Arch. Biol. Sci.*, Belgrade, 63(4), 2011, 1117-1125.
- [23] A. Čučulović, M. Sabovljević, D. Veselinović. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U and ^7Be activity concentrations in mosses from spas in Eastern Serbia in the period 2000-2012. *Arch. Biol. Sci.*, Belgrade, 64(3), 2014, 917-925.
- [24] S. Grdović, G. Vitorović, B. Mitrović, V. Andrić, B. Petrujkić, M. Obradović. Natural and anthropogenic radioactivity of feedstuffs, mosses and soil in the Belgrade environment, Serbia. *Arch. Biol. Sci.* 62, 2010, 301-307.

- [25] S. Dragović, N. Mihailović, B. Gajić. Quantification of transfer of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in mosses of a semi-natural ecosystem. *J. Environ. Radioact.* 101, 2010, 159-164.

RADIOACTIVITY IN MOSS AND LICHEN COLLECTED IN 2015 FROM NP DJERDAP

**Ana ČUČULOVIĆ¹, Rodoljub ČUČULOVIĆ², Saša NESTOROVIĆ³ and
Dragan VESELINOVIĆ⁴**

- 1) *University of Belgrade, Institute for the Application of Nuclear Energy – INEP, Zemun, Serbia, e-mail: anas@inep.co.rs*
- 2) *Higher Business school in Leskovac, Leskovac, Serbia*
- 3) *National Park Djerdap, Donji Milanovac, Serbia*
- 4) *University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia*

ABSTRACT

Activity levels of natural (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U) and artificially produced ^{137}Cs radionuclides in moss (28) and lichen (17) samples collected on the territory of the Djerdap national park in May 2015 are presented in this work. Radionuclide presence was established in all moss and lichen samples. The obtained results indicate that moss and lichen are good bioindicators of radio-pollution of the environment. It is necessary to monitor activity levels of radionuclides in moss and lichen due to possible radiation risks of organisms consuming them as food or using them for other purposes.