

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

Монографија
ЧЕРНОБИЉ
30 година после

Уредник
др Гордана Пантелић

Београд
2016

Монографија: **ЧЕРНОБИЉ 30 година после**

Издавач: Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за
заштиту од зрачења и заштиту животне средине
„Заштита“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За издавача: др Борислав Грубор

Рецензенти: др Оливера Цирај Бјелац
др Иштван Бикит
др Владимир Удовичић
др Невенка Антовић
др Ивана Вуканац
др Драгослав Никезић
др Душан Мрђа
др Марија Јанковић
др Јелена Крнета Николић

Уредник: др Гордана Пантелић

Лектор/коректор: Мариола Пантелић, MSc

Објављивање монографије помогли:
Министарство просвете, науке и технолошког развоја

ISBN 978-86-7306-138-2

Штампа: Штампарија Института за нуклеарне науке „Винча“, 522,
11001 Београд, Тел. 011-8066-746

Тираж: 150 примерака

PU-239+240 I PU-238 U ZEMLJIŠTU CRNE GORE – PORIJEKLO I KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI

Nevenka M. ANTOVIĆ¹, Perko VUKOTIĆ², Nikola SVRKOTA³,
Sergej K. ANDRUHOVIĆ⁴

1) Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora

2) Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, Crna Gora

3) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

4) Institut za fiziku, Akademija nauka, Minsk, Bjelorusija

Rezime

Mjerenja koncentracija aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu u uzorcima zemljišta iz Crne Gore vršena su u Minsku (BelGIM) i u Helsinkiju (STUK), utvrđeni su njihovi međusobni odnosi, kao i odnosi koncentracija plutonijumovih izotopa i ^{137}Cs . Na osnovu toga je diskutovano i njihovo porijeklo, a na osnovu aktivnosti ^{137}Cs izmjerenih na teritoriji Crne Gore na 91 lokaciji (67 – samo površinski sloj, 24 – slojevi: 0-5 cm, 5-10 cm i 10-15 cm) procijenjeni su i u ovom radu predstavljeni nivoi aktivnosti Pu izotopa.

1. UVOD

Monitoring izotopa plutonijuma u životnoj sredini je veoma važan, s obzirom na njihovu visoku radiotoksičnost i dugo vrijeme poluživota, a njihovo prisustvo je generalno uslovljeno radioaktivnim padavinama usljed testiranja nuklearnog oružja (globalni *fallout*) i nuklearnih akcidenata.

Na teritoriju Crne Gore ovi izotopi su mogli dospjeti usljed globalnog *fallout*-a prije 1986. godine, a tada i nakon toga – dominantno usljed akcidenta u Černobilju.

Poznato je da za zemljište sjeverne hemisfere odnos aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}/^{238}\text{Pu}$ iz testiranja nuklearnog oružja iznosi (30 ± 4) [1]. Odnos $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ za zemljišta kontaminirana černobiljskim akcidentom ima opseg od 0,3 do 0,7 [2-5]. Prema izvještaju UNSCEAR iz 1982. godine [6], odnos $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ aktivnosti iz globalnog *fallout*-a za sjevernu hemisferu i zonu kojoj pripada Crna Gora je 0,0259, a za padavine uslovljene akcidentom u Černobilju – 0,39-0,55 [7].

Fisioni fragment ^{137}Cs je na teritoriju Crne Gore mogao dospjeti usljed globalnog *fallout*-a prije 1986. godine, a zatim dominantno usljed akcidenta u Černobilju, što je potvrđeno njegovim sistematskim mjerenjima krajem 1994. godine, koja su pokazala da je srednja vrijednost koncentracija aktivnosti 227 Bq/kg [8].

Nema podataka o mjerenju ^{137}Cs u zemljištu Crne Gore prije 1986. godine, ali se može pretpostaviti da je njegov nivo bio isti kao i u Bosni i Hercegovini (od 4 Bq/kg do 30 Bq/kg, srednja vrijednost: 13 Bq/kg [9]). Prva mjerenja ^{137}Cs u Crnoj Gori izvršena su na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta Crne Gore odmah nakon akcidenta u Černobilju. Mjerenja su nastavljena 1988-1989. godine

i, kako je to saopšteno na skupu „Černobilj, 10 godina posle“ (Budva, 1996), u uzorcima površinskog sloja zemljišta izmjerene su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i preko 800 Bq/kg (Mojkovac) i 1000 Bq/kg (1090 Bq/kg – Đurđevića Tara, 1295 Bq/kg na jednoj lokaciji u Nikšiću) [10].

Odnos aktivnosti ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ u zemljištu sjeverne hemisfere ima vrijednost (36 ± 4) [1], ukoliko oni potiču iz globalnog *fallout*-a, a drugačiju vrijednost ukoliko postoji dodatna kontaminacija iz drugih izvora.

U nedostatku mogućnosti sistematskih mjerenja izotopa plutonijuma u većem broju uzoraka zemljišta, eksperimentalno utvrđeni odnosi aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu , kao i odnos aktivnosti ^{137}Cs i navedenih izotopa Pu [11], iskorišćeni su za utvrđivanje njihovog porijekla, kao i za procjene njihovih nivoa u zemljištu Crne Gore, tj. u uzorcima za koje su aktivnosti cezijuma poznate.

U radu su korišćene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs na 47 lokacija dobijene *in situ* spektrometrijom 1994, kao i rezultati dobijeni standardnom HPGe gama spektrometrijom nakon 1994. godine.

2. MJERNE LOKACIJE

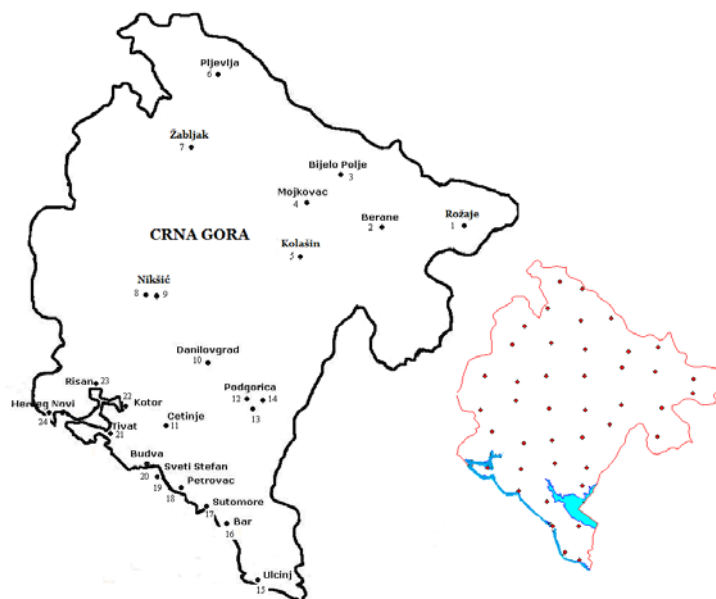
Na slici 1 data je karta Crne Gore na kojoj su naznačena mjesta uzorkovanja nekultivisanog zemljišta iz gradskih područja, sa tri dubine (do 5 cm, (5-10) cm i (10-15) cm), a čije su koordinate navedene u tabeli 1, dok su dodatno uzorkovani površinski slojevi zemljišta na lokacijama u Mojkovcu (ovaj rad uključuje 11 mjernih tačaka – tabela 2) i Nikšiću (ovaj rad uključuje 9 mjernih tačaka – koordinate u tabeli 3), koji su nakon akcidenta u Černobilju pokazali prilično visoke koncentracije ^{137}Cs [10].

Većina lokacija na kojima je krajem 1994. godine vršeno *in situ* mjerenje predstavljena je na manjoj karti na slici 1. Od ukupno 70 mjernih tačaka, u ovom radu se razmatra njih 47. Naime, cijela teritorija je podijeljena na 42 pravougaonika 15 km x 20 km (prema geološkim i pedološkim osobinama) i u okviru svakog od njih na jednoj lokaciji je vršeno mjerenje, dodatno su mjerenja vršena na još 28 lokacija, i između ostalog je zaključeno je da je detektovani ^{137}Cs uglavnom samo u površinskom sloju (do 6 cm) [8].

3. METODE MJERENJA I PROCJENA KORELACIONOG KOEFICIJENTA

3.1. Mjerenje ^{137}Cs

Gama spektrometar koji se sastojao od HPGe detektora n-tipa (sa berilijumskim prozorom, 100 cm³ aktivne zapremine i FWHM – 1,95 keV za liniju ^{60}Co 1,332 MeV), 4k-više kanalnog analizatora i lap top kompjutera, korišćen je za *in situ* mjerenja 1994. godine.



Slika 1. Lokacije uzorkovanja zemljišta

Za mjerenja uzoraka zemljišta koja su kasnije izvršena, a predmet su ovog rada, korišćeni su ORTEC HPGe detektori GEM-40190 (40% efikasnosti, FWHM – 1,80 keV na 1,332 MeV i FWHM – 840 eV na 122 keV) i 30185-S (35% efikasnosti, FWHM – 1,72 keV na 1,332 MeV i FWHM – 700 eV na 122 keV). Primjenjene su standardne procedure uzorkovanja i pripreme [12,13], mjerenja, kao i kalibracije uređaja.

3.2. Mjerenje ^{238}Pu i $^{239+240}\text{Pu}$

U Crnoj Gori nije postojala mogućnost alfa spektrometrijskih analiza, zbog čega su mjerenja izotopa plutonijuma u uzorcima iz životne sredine urađena u Minsku (BelGIM) i u Helsinkiju (STUK), zahvaljujući ugovorima između Prirodno-matematičkog fakulteta u Podgorici i BelGIM (*Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь*) i Crnogorske akademije nauka i umjetnosti i STUK (*Radiation and Nuclear Safety Authority*). Pri mjerenjima 6 uzoraka zemljišta iz Crne Gore (tabela 1) (Pljevlja: (0-5) cm, (5-10) cm i (10-15) cm; Podgorica-1: (0-5) cm i (5-10) cm; Sutomore: (0-5) cm) u Finskoj (STUK), primjenjena je standardna procedura opisana u [14], dok su za analize uzoraka različite prirode iz životne sredine Crne Gore koje su sprovedene u Bjelorusiji, korišćeni alfa spektrometar Canberra 7401-VR, PIPS detektor, površina 450 mm², rezolucija 20 keV, kao i ICP-MS Agilent 7500a.

3.3. Korelacioni koeficijenti

Mjerenja izotopa Pu u Finskoj [11], uz poznate aktivnosti ^{137}Cs u gore navedenih 6 uzoraka zemljišta iz Crne Gore, pokazala su prilično konzistentan odnos aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$, čija je srednja vrijednost 0,020 (uz standardnu

devijaciju 0,007); tj. utvrđeni srednji odnos aktivnosti $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ je oko 57. Znajući rezultate gama spektrometrijskih analiza uzoraka zemljišta (u smislu poznavanja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs), i primijenjujući dati koeficijent (0,020), moguće je procijeniti nivo $^{239+240}\text{Pu}$ u istom uzorku, tj. moguće je uraditi procjenu nivoa kontaminiranosti teritorije datim izotopom – u nekom trenutku nakon akcidenta u Černobilju [15]. Takođe, znajući aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima zemljišta uzorkovanim u istoj seriji kada i uzroci analizovani na aktivnosti izotopa $^{239+240}\text{Pu}$, i izračunavajući aktivnost ^{137}Cs u vrijeme mjerenja Pu, moguće je uraditi iste procjene – što je u ovom radu i urađeno.

Odnos aktivnosti $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ u istim uzorcima ima srednju vrijednost 0,030 (i standardnu devijaciju 0,007), na osnovu čega se može diskutovati porijeklo ovih izotopa na teritoriji Crne Gore. Srednji odnos aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}/^{238}\text{Pu}$ bio je 31. Stoga je, primjenjujući procjene nivoa $^{239+240}\text{Pu}$, moguće dobiti predstave i o nivou ^{238}Pu u uzorcima zemljišta iz Crne Gore, uzorkovanim u istoj seriji sa onim koji su analizovani na aktivnosti ^{238}Pu [16]. Takođe, taj odnos bi se mogao primijeniti i za određene procjene nivoa kontaminacije u nekom prethodnom trenutku, ali samo da bi se locirala područja za koja su neophodna dalja istraživanja [17].

Istovremeno, odnosi aktivnosti $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ za navedenih 6 uzoraka pokazali su srednju vrijednost od 0,0006, uz standardnu devijaciju od 0,0003, tj. odnos $^{137}\text{Cs}/^{238}\text{Pu}$ od oko 2070. Međutim, ovi odnosi u pojedinačnim uzorcima nijesu pokazali konzistentnost [18] nalik onoj u slučaju $^{239+240}\text{Pu}$, zbog čega egzaktnije procjene zahtijevaju dodatne analize ^{238}Pu u različitim tipovima zemljišta, tim prije što se ^{238}Pu i ^{137}Cs razlikuju i po hemijskim osobinama, drugačije se ponašaju u životnoj sredini, a svi rezultati ukazuju da njihove današnje koncentracije u zemljištu Crne Gore nijesu (dominantno) iz istog izvora.

Stoga je, uz napomenu da se radi o grubim procjenama (koje podrazumijevaju da je i odnos aktivnosti ^{238}Pu i ^{137}Cs konzistentan), u ovom radu urađena procjena nivoa ^{238}Pu na teritoriji Crne Gore na sljedeći način:

- teritorija Crne Gore podijeljena je na *sjever*, *centar* (Nikšić, Danilovgrad, Podgorica, Cetinje) i *jug* (Primorje);
- podrazumijevano je da je odnos aktivnosti $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ u istom uzorku dobijen za tri sloja zemljišta iz Pljevalja, tj. 0,00045, 0,00028 i $< 0,00027$ – u slojevima (0-5) cm, (5-10) cm i (10-15) cm, respektivno – odgovarajući za sjever Crne Gore;
- podrazumijevano je da je odnos aktivnosti $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ u istom uzorku dobijen za dva sloja zemljišta iz Podgorice, tj. 0,00093 – površinski (0-5) cm, i 0,0007 – srednji (5-10) cm sloj zemljišta – primjenljiv za tzv. centralni region zemlje;
- podrazumijevano je da je odnos aktivnosti $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ u istom uzorku dobijen za uzorak površinskog (0-5) cm zemljišta iz Sutomora ($< 0,0016$) – odgovarajući za jug Crne Gore.

4. REZULTATI

Rezultati mjerenja ^{137}Cs (aktivnosti korigovane na datum mjerenja izotopa Pu), na 24 lokacije u Crnoj Gori (slika 1), dati su u tabeli 1, zajedno sa izmjerenim

(STUK) ili procijenjenim aktivnostima $^{239+240}\text{Pu}$, te izmjerenim (STUK) ili na gore opisani način procijenjenim nivoima aktivnosti ^{238}Pu .

Uz to, mjerenjem aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}$ (BelGIM) u zemљишту sa dubine (10-15) cm uzorkovanom između Žabljaka i Pljevlja, dobijena je srednja vrijednost od 8,3 Bq/kg (tj. u tri analizovana uzorka iz datog zemљиšta: (8,2±2,5) Bq/kg, (7,5±2,5) Bq/kg, (9,3±3,0) Bq/kg).

Tabela 1. Izmjerene koncentracije ^{137}Cs i procijenjeni nivoi izotopa plutonijuma u zemљишту Crne Gore (2011. godine)

Br.	Lokacija	Koordinate	Sloj (cm)	^{137}Cs (Bq/kg), [19]	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg), [19]	^{238}Pu (Bq/kg)
1	Rožaje	N 42°56,296' E 20°12,402'	0-5	308,94±19,9	6,18±0,40	0,1390±0,0090
			5-10	67,63±4,40	1,35±0,09	0,0189±0,0012
			10-15	32,49±2,14	0,65±0,04	<0,0088
2	Berane	N 42°51,317' E 19°52,068'	0-5	48,39±3,16	0,97±0,06	0,0218±0,0014
			5-10	42,17±2,76	0,84±0,05	0,0118±0,0008
			10-15	32,86±2,16	0,66±0,04	<0,0089
3	Bijelo Polje	N 43°01,360' E 19°43,990'	0-5	86,17±5,58	1,72±0,11	0,0388±0,0025
			5-10	60,36±3,90	1,21±0,08	0,0169±0,0011
			10-15	12,09±0,84	0,24±0,02	<0,0033
4	Mojkovac	N 42°57,084' E 19°34,285'	0-5	115,05±7,44	2,30±0,15	0,0518±0,0033
			5-10	141,89±9,16	2,84±0,18	0,0397±0,0026
			10-15	112,83±7,26	2,26±0,14	<0,0305
5	Kolašin	N 42°49,447' E 19°31,584'	0-5	49,45±3,30	0,99±0,07	0,0222±0,0015
			5-10	50,79±3,34	1,02±0,07	0,0142±0,0009
			10-15	73,59±4,78	1,47±0,09	<0,0199
6	Pljevlja	N 43°20,167' E 19°19,100'	0-5	32,47±2,14	0,35±0,05	0,0145±0,0088
			5-10	33,67±2,28	0,38±0,05	0,0095±0,0058
			10-15	22,11±1,48	0,44±0,06	<0,006
7	Žabljak	N 43°09,373' E 19°07,525'	0-5	413,25±6,52	8,26±0,13	0,1859±0,0029
			5-10	93,34±6,04	1,87±0,12	0,0261±0,0017
			10-15	39,45±2,56	0,79±0,05	<0,0106
8	Nikšić-1	N 42°08,846' E 18°55,380'	0-5	129,62±8,38	2,59±0,17	0,1205±0,0078
			5-10	113,54±7,36	2,27±0,15	0,0795±0,0052
			10-15	79,34±5,18	1,59±0,10	
9	Nikšić-2	N 42°44,537' E 18°56,300'	0-5	59,79±3,96	1,19±0,08	0,0556±0,0037
			5-10	58,13±3,78	1,16±0,07	0,0407±0,0026
			10-15	30,27±2,04	0,60±0,04	
10	Danilov grad	N 42°32,119' E 19°06,930'	0-5	17,98±1,24	0,36±0,02	0,0167±0,0011
			5-10	17,43±1,16	0,35±0,02	0,0122±0,0008
			10-15	15,87±1,06	0,32±0,02	
11	Cetinje	N 42°23,197' E 18°55,639'	0-5	139,79±8,98	2,79±0,18	0,1300±0,0084
			5-10	135,02±8,68	2,70±0,17	0,0945±0,0061
			10-15	97,86±6,36	1,96±0,13	
12	Podgorica-1	N 42°25,344' E 19°16,061'	0-5	100,47±6,58	2,61±0,21	0,094±0,020
			5-10	70,01±4,62	1,73±0,15	0,049±0,014
			10-15	22,84±1,52	0,46±0,03	

Tabela 1. Nastavak

13	Podgorica-2	N 42°25,618' E 19°12,128'	0-5	52,08±3,42	1,04±0,07	0,0415±0,0027 0,0180±0,0012
			5-10	19,69±1,36	0,39±0,03	
			10-15	11,20±0,40	0,22±0,01	
14	Podgorica-3	N 42°26,973' E 19°16,946'	0-5	44,62±2,90	0,89±0,06	0,0484 ± 0,0032 0,0137±0,0009
			5-10	25,75±1,68	0,51±0,03	
			10-15	16,93±1,14	0,34±0,02	
15	Ulcinj	N 41°54,585' E 19°15,026'	0-5	1,82±0,22	0,036±0,004	<0,0029
			5-10	1,87±0,22	0,037±0,004	
			10-15	2,31±0,20	0,046±0,004	
16	Bar	N 42°06,635' E 19°05,368'	0-5	18,83±1,24	0,38±0,02	<0,0301
			5-10	14,87±0,98	0,29±0,02	
			10-15	15,05±0,98	0,30±0,02	
17	Sutomore	N 42°08,577' E 19°02,111'	0-5	5,50±0,44	0,156±0,036	<0,0091
			5-10	5,81±0,44	0,12±0,01	
			10-15	6,78±0,50	0,14±0,01	
18	Petrovac	N 41°54,585' E 19°15,026'	0-5	46,59±3,08	0,93±0,06	<0,0745
			5-10	28,93±1,88	0,58±0,04	
			10-15	17,44±1,18	0,35±0,02	
19	Budva	N 42°17,149' E 18°51,139'	0-5	32,51±2,18	0,65±0,04	<0,0520
			5-10	45,73±2,94	0,91±0,06	
			10-15	43,85±2,86	0,88±0,06	
20	Jaz	N 42°16,993' E 18°48,130'	0-5	16,83±1,12	0,34±0,02	<0,0269
			5-10	14,22±0,96	0,28±0,02	
			10-15	14,79±0,98	0,29±0,02	
21	Tivat	N 42°23,286' E 18°40,910'	0-5	78,95±5,10	1,58±0,10	<0,1263
			5-10	32,33±2,14	0,65±0,04	
			10-15	85,30±5,52	1,71±0,11	
22	Kotor	N 42°24,992' E 18°45,752'	0-5	15,28±1,06	0,31±0,02	<0,0244
			5-10	7,85±0,56	0,16±0,01	
			10-15	2,02±0,26	0,04±0,005	
23	Risan	N 42°30,628' E 18°41,763'	0-5	50,40±3,36	1,01±0,07	<0,0806
			5-10	51,93±3,44	1,04±0,07	
			10-15	61,89±4,08	1,24±0,08	
24	H. Novi	N 42°27,294' E 18°33,011'	0-5	81,97±5,30	1,64±0,11	<0,1312
			5-10	41,18±2,68	0,82±0,05	
			10-15	25,12±1,70	0,50±0,03	

U tabeli 2 razmatrane su dodatne lokacije u Mojkovcu (analize iz 2011. godine), a u tabeli 3 – lokacije sa gradskog područja Nikšića (uzorkovanje – uglavnom 2010. godine).

U tabeli 4 date su procjene za 47 lokacija na kojima su krajem 1994. godine izvršena mjerenja ^{137}Cs *in situ* metodom.

Na određenom broju lokacija navedenih u tabeli 4 naknadno su vršena uzorkovanja zemljišta – koje je zatim mjereno u *Centru za ekotoksikološka ispitivanja* (HPGe spektrometrijom). Aktivnosti ^{137}Cs u površinskom sloju (do 5 cm) dobijene u tim analizama date su u tabeli 5. Druga vrijednost u zadnjoj koloni, za istu godinu, odnosi se na drugi uzorak nekultivisanog zemljišta.

Tabela 2. Procjene nivoa $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu u površinskom zemljištu Mojkovca na osnovu izmjerene koncentracije ^{137}Cs

Lokacija	^{137}Cs (Bq/kg), [20]	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	^{238}Pu (Bq/kg)
Braunovići	4,94±0,22	0,099±0,004	0,0022±0,0001
Ul. Dušana Tomovića	28,64±1,22	0,573±0,024	0,0129±0,0005
Ul. Svetozara Drobnjaka	80,36±2,82	1,607±0,056	0,0362±0,0013
Mala škola	66,03±2,21	1,321±0,044	0,0297±0,0001
Pumpa	33,60±1,18	0,672±0,0236	0,0151±0,0005
Ilići	8,32±0,47	0,166±0,009	0,0037±0,0002
Rudnica 1	6,50±0,26	0,130±0,005	0,0029±0,0001
Rudnica	276±9	5,52±0,18	0,1242±0,0040
Hotel Sinjajevina	79,17±2,80	1,583±0,056	0,0356±0,0013
Mikronaselje	41,34±1,62	0,827±0,032	0,0186±0,0007
Školski centar	84,20±3,01	1,684±0,060	0,0379±0,0014

Tabela 3. Procjene nivoa $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu u površinskom zemljištu Nikšića na osnovu izmjerene koncentracije ^{137}Cs

Lokacija	^{137}Cs (Bq/kg), [21]	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	^{238}Pu (Bq/kg)
N 42°51,100' E 18°55,102'	252,2±8,1	5,044±0,162	0,2345±0,0075
N 42°48,820' E 18°55,392'	127,3±4,1	2,546±0,082	0,1184±0,0038
N 42°46,788' E 18°51,790'	256,7±8,3	5,134±0,166	0,2387±0,0077
N 42°46,821' E 18°54,638'	92,8±3,0	1,856±0,060	0,0863±0,0028
N 42°43,999' E 19°08,165'	179,8±5,8	3,596±0,116	0,1672±0,0054
N 42°43,676' E 19°07,915'	136,9±4,4	2,738±0,088	0,1273±0,0041
N 42°43,764' E 19°05,853'	110,1±3,6	2,202±0,072	0,1024±0,0033
N 42°46,550' E 18°58,503'	475,9±15,3	9,518±0,306	0,4426±0,0142
N 42°44,460' E 18°56,316'	87,5±2,8	1,750±0,056	0,0814±0,0026

Tabela 4. Rezultati *in situ* mjerenja ^{137}Cs (1994. godine) i procijenjene koncentracije Pu izotopa

Lokacija	^{137}Cs (Bq/kg)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg), [15,17]	^{238}Pu (Bq/kg)
Jakupov grob (Boljanići)	359±37	7,18±0,74	0,1616±0,0166
Gornja Rudica (Pljevlja)	174±19	3,48±0,38	0,0783±0,0086
Trsa (Piva)	444±37	8,88±0,74	0,1998±0,0166
Podkokot (Bobovo)	629±74	12,58±1,48	0,2830±0,0333
Drljino brdo (Kosanica)	444±37	8,88±0,74	0,1998±0,0166
Kozička Rijeka	444±37	8,88±0,74	0,1998±0,0166
Seljani (Piva)	252±26	5,04±0,52	0,1134±0,0117
Pašina voda (Durmitor)	444±37	8,88±0,74	0,1998±0,0166
Donja Dobrilovina (rijeka Tara)	222±22	4,44±0,44	0,0999±0,0099
Glibavac (Tomaševo)	326±33	6,52±0,66	0,1467±0,0148
Mokri lug (Bistrica)	285±30	5,70±0,60	0,1282±0,0135
Dubočke (Banjani)	115±11	2,30±0,22	0,1070±0,0102
Duga (Nikšić)	266±26	5,32±0,52	0,2474±0,0242
Kruševce (Šavnik)	292±22	5,84±0,44	0,1314±0,0099
Bunar Smrdan (Sinjajevina)	740±74	14,80±1,48	0,3330±0,0333
Marića Luka (Mojkovac)	263±26	5,26±0,52	0,1184±0,0117
Bioča (Berane)	45±4	0,90±0,08	0,0202±0,0018
Bašča (Rožaje)	326±33	6,52±0,66	0,1467±0,0148
Vilusi	289±22	5,78±0,44	0,2688±0,0205
Kuside (Nikšić)	314±30	6,28±0,60	0,2920±0,0279
Kuta (Nikšić)	252±26	5,04±0,52	0,2344±0,0242
Kodža (Međurečje)	85±7	1,70±0,14	0,0790±0,0065
Mateševo (Bare Kraljske)	481±37	9,62±0,74	0,4473±0,0344
Šekular	159±15	3,18±0,30	0,0716±0,0068
Kozare (Rožaje)	363±33	7,26±0,66	0,1634±0,0148
Dragalj	270±26	5,40±0,52	0,2511±0,0242
Čevo	141±14	2,82±0,28	0,1311±0,0130
Ždrebaonik (Danilovgrad)	44±4	0,88±0,08	0,0409±0,0037
Piperska Rijeka (Radunovići)	81±7	1,62±0,14	0,0753±0,0065
Veruša	155±15	3,10±0,30	0,1442±0,0140
Martinovići (Gusinje)	252±26	5,04±0,52	0,1134±0,0117
Krašići (Tivat)	37±4	0,74±0,08	<0,0592
Bajice (Cetinje)	133±11	2,66±0,22	0,1237±0,0102
Draževina (Kruse)	56±4	1,12±0,08	0,0521±0,0037
Pikalja (Cijevna)	104±11	2,08±0,22	0,0967±0,0102
Bečići (Budva)	63±7	1,26±0,14	<0,1008
Boljevići (Crmnica)	48±4	0,96±0,08	0,0446±0,0037
Podhum (Tuzi)	59±4	1,18±0,08	0,0549±0,0037
Čeluga (Bar)	26±4	0,52±0,08	<0,0416
Curovići (Ostros)	37±4	0,74±0,08	<0,0592
Bratica (Ulcinj)	14±2	0,28±0,04	<0,0224
Gornji Štoj (Ulcinj)	15±2	0,30±0,04	<0,0240
Illino brdo (Pljevlja)	200±19	4,00±0,38	0,0900±0,0086
Budimlja (Berane)	100±11	2,00±0,22	0,0450±0,0050

Tabela 4. Nastavak

Crne zemlje (Podgorica)	16±2	0,32±0,04	0,0149±0,0019
Sadine (Tološi)	30±4	0,60±0,08	0,0279±0,0037
Kodre (Tološi)	10±1	0,20±0,02	0,0093±0,0009

Treba napomenuti da su koncentracije aktivnosti u dubljim slojevima zemljišta, mjerene u periodu 2001-2006. godine, bile manje (i to značajno manje u najvećem broju slučajeva) nego u površinskom sloju. Jedino su u slučaju uzoraka sa lokacije Bratica (2004. godine), sa sve tri dubine sloja dobijene uporedive vrijednosti aktivnosti ¹³⁷Cs, dok su na lokaciji Boljevići (2006. godine) za dva dublja sloja zemljišta dobijene aktivnosti od 21 i 22 Bq/kg, respektivno.

Tabela 5. Aktivnost ¹³⁷Cs na *in situ* lokacijama

Lokacija	¹³⁷ Cs (Bq/kg) (<i>in situ</i> – 1994)	Godina uzorkovanja i mjerenja (HPGe)	¹³⁷ Cs (Bq/kg) (HPGe)
Jakupov grob	359±37	2001 2002	391±8 701±16 243±5
Bunar Smrdan (Sinjajevina)	740±74	2001 2002	1710±85 2011±45 1945±44
Mateševo (Bare Kraljske)	481±37	2001 2002	589±12 495±12 327±7
Ždrebaonik (Danilovgrad)	44±4	2006	3,9±0,2
Krašići (Tivat)	37±4	2004	91±2
Bajice (Cetinje)	133±11	2003	72±2
Draževina (Kruse)	56±4	2003	106±2
Pikalja (Cijevna)	104±11	2006	132±4
Bečići (Budva)	63±7	2004	123±3
Boljevići (Crmnica)	48±4	2006	19±1
Podhum (Tuzi)	59±4	2003	40±1
Čeluga (Bar)	26±4	2003	57±1
Bratica (Ulcinj)	14±2	2004	22±1

5. DISKUSIJA

5.1. Porijeklo izotopa plutonijuma prisutnih u zemljištu Crne Gore

Kako je navedeno prethodno, odnos aktivnosti ²³⁹⁺²⁴⁰Pu/²³⁸Pu iz padavina usljed testiranja nuklearnog oružja za sjevernu hemisferu je oko 30 [1], što u potpunosti odgovara odnosu koji je za zemljište u Crnoj Gori (oko 31) dobijen alfa-spektrometrijskim mjerenjem ovih izotopa.

Odnosno, dobijeni srednji odnos aktivnosti ²³⁸Pu i ²³⁹⁺²⁴⁰Pu (0,03) u potpunosti odgovara očekivanom za Crnu Goru, i uslovljenom globalnim *fallout*-om (0,0259

[6]). Ova vrijednost (kao i svih šest pojedinačnih odnosa za šest uzoraka) je značajno ispod donje granice ovog odnosa za kontaminaciju zemljišta plutonijumom černobiljskog porijekla (0,3, kako je navedeno prethodno).

Iz ovoga slijedi da su izotopi plutonijuma prisutni na teritoriji Crne Gore posljedica globalnog *fallout*-a (zbog ^{238}Pu treba napomenuti i akcident SNAP-9A), te da ovom nivou kontaminacije akcident u Černobilju nije doprinio, bar ne u iole značajnom iznosu. Ovo s obzirom da su direktna mjerenja izvršena u uzorcima koji potiču i sa sjevera, i iz centralnog dijela Crne Gore, kao i sa Primorja; i s obzirom na veliku razliku u izmjerenom odnosu i onom koji je karakterističan za doprinos černobiljskog akcidenta.

Kad je riječ o ^{137}Cs , samo poređenje vrijednosti njegovih koncentracija u zemljištu susjedne Bosne i Hercegovine prije 1986. godine [9], kada je dominantno bio uslovljen globalnim *fallout*-om, i onih koje su u Crnoj Gori izmjerene nakon akcidenta [10], govori o značajnom doprinosu akcidenta u Černobilju kontaminaciji teritorije Crne Gore ovim radionuklidom.

U prilog tome ide i izmjereni odnos aktivnosti $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ u zemljištu Crne Gore 2011. godine (srednja vrijednost: 57). Tipični odnos za sjevernu hemisferu, ukoliko su radionuklidi iz globalnog *fallout*-a, je oko 36 [1], a svako odstupanje ukazuje na dodatni izvor kontaminacije – bilo plutonijumom, bilo cezijumom (ili i jednim i drugim). Iz razmatranja odnosa ^{238}Pu i $^{239+240}\text{Pu}$ jasno je njihovo porijeklo, što znači da je gornje odstupanje uslovljeno dodatnom ^{137}Cs kontaminacijom.

5.2. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu

Ranije pomenuta mjerenja uzoraka zemljišta izvršena u *Laboratoriji za gama spektrometriju* Prirodno-matematičkog fakulteta u Podgorici, nakon akcidenta u Černobilju i narednih par godina, pokazala su sljedeće vrijednosti koncentracija aktivnosti cezijuma: 520 Bq/kg (Pljevlja), 645 Bq/kg (Šavnik), 710 Bq/kg (Žabljak), 810 Bq/kg (Mojkovac), 1090 Bq/kg (Đurđevića Tara), 1295 Bq/kg i 200 Bq/kg (Nikšić – meteorološka stanica i Gornje polje, respektivno); dok su u ostalim uzorcima (sa drugih lokacija u Crnoj Gori) aktivnosti bile značajno niže [10].

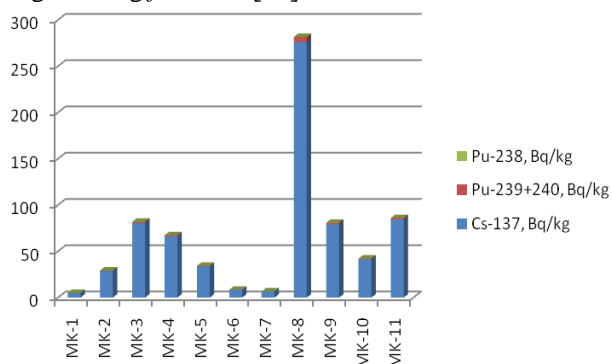
Podaci za Nikšić (2 mjerne tačke, a ogromna razlika u koncentracijama aktivnosti ^{137}Cs), kao i kasnije dobijeni podaci predstavljeni u gornjim tabelama, ukazuju na veliku prostornu varijabilnost. Čak i na istoj lokaciji (tabela 5), u različitim uzorcima iz neposredne okoline, izmjerene koncentracije su različite, što sve skupa potvrđuje poznatu činjenicu da će koncentracije aktivnosti zavisiti od većeg broja faktora, kao što će i migracija radionuklida u dublje slojeve zemljišta takođe zavisiti od većeg broja faktora.

Prethodno je komentarisano da su analize izvršene 1994. godine (tabela 4) pokazale da je cezijum uglavnom bio u površinskom sloju zemljišta, što je potvrđeno naknadnim uzorkovanjem i mjerenjem u periodu 2001-2006. godine (tabela 5). Iz tabele 1 slijedi da je i 2011. godine on dominantno i dalje u površinskom sloju, kao i plutonijum. Na primjer, izmjereni ^{238}Pu u tri uzorka iz Pljevalja (0,0145, 0,0095 i <0,0060 Bq/kg – površinski, srednji i najdublji sloj,

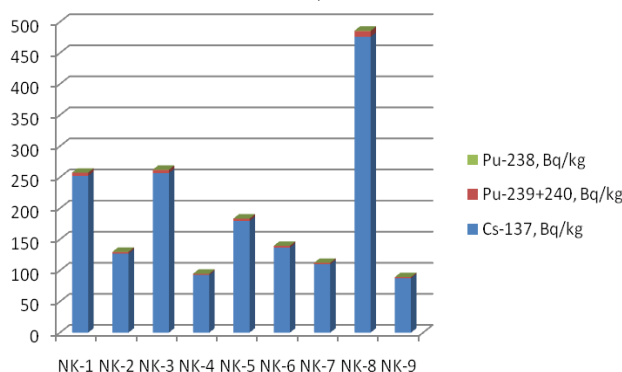
respektivno) i dva uzorka iz Podgorice (0,094 i 0,049 Bq/kg – površinski i srednji sloj, respektivno) [18], to potvrđuje.

Granice i srednje vrijednosti aktivnosti razmatranih radionuklida u površinskom sloju zemljišta date su u tabeli 6 (1994, 2011. godine).

Međutim, treba napomenuti da migracija razmatranih radionuklida u dublje slojeve zemljišta i ne može u ovom slučaju biti na adekvatan način razmatrana, s obzirom da se, između ostalog, ne zna tačno vrijeme njihovog deponovanja, ali treba istaći da su neka istraživanja pokazala da, na primjer, cezijum iz černobiljskog akcidenta u određenom tipu zemljišta pokazuje veću mobilnost nego cezijum iz globalnog *fallout*-a [22].



a)



b)

Slika 2. Kumulativna aktivnost razmatranih radionuklida u površinskom zemljištu: Mojkovca (tabela 2) (a), i Nikšića (tabela 3) (b)

Za analizu u ovom radu izabrane lokacije u Mojkovcu (tabela 2) i Nikšiću (tabela 3), na kojima je uzorkovan površinski sloj zemljišta, pokazale su minimum, maksimum, srednju vrijednost i standardnu devijaciju

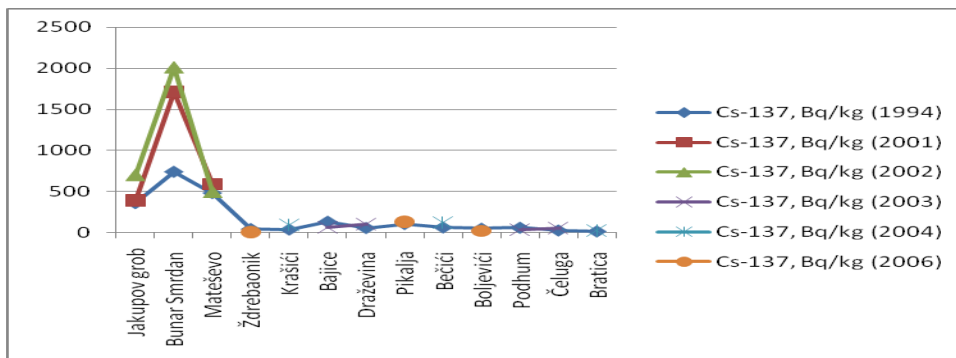
- izmjerenog ^{137}Cs : 4,94, 276, 64,5 i 76,4 Bq/kg, respektivno (Mojkovac) i 87,5, 476, 191 i 124 Bq/kg, respektivno (Nikšić);
- procijenjenog $^{239+240}\text{Pu}$: 0,099, 5,52, 1,29 i 1,53 Bq/kg, respektivno (Mojkovac) i 1,75, 9,52, 3,82 i 2,48 Bq/kg, respektivno (Nikšić);

- procijenjenog ^{238}Pu : 0,0022, 0,1242, 0,029 i 0,0344 Bq/kg, respektivno (Mojkovac) i 0,0814, 0,4426, 0,1776 i 0,1154 Bq/kg, respektivno (Nikšić). Kumulativne aktivnosti navedenih radionuklida predstavljene su na slici 2 (Mojkovac i Nikšić – a) i b), respektivno).

Tabela 6. Deskriptivna statistika mjerenja ^{137}Cs i mjerenja i procjena $^{239+240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu za površinski sloj zemljišta (tabele 1 i 4)

	Minimum	Maksimum	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Broj razmatranih lokacija
2011. godine					
^{137}Cs (Bq/kg)	1,82	413	81,1	95,4	24
$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	0,036	8,265	1,637	1,924	24
^{238}Pu (Bq/kg) (\leq)	0,0006	0,186	0,0413	0,0535	24
1994. godine					
^{137}Cs (Bq/kg)	10	740	211	173	47
$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	0,2	14,8	4,21	3,46	47
^{238}Pu (Bq/kg) (\leq)	0,0093	0,4473	0,1296	0,095	47

Procijenjene srednje aktivnosti izotopa plutonijuma (za 47 lokacija razmatranih 1994. godine, i 24 gradske lokacije razmatrane 2011. godine) date su u tabeli 6, ali treba napomenuti da su dodatne detaljne analize neophodne, tim prije što se radi o grubim procjenama (posebno u slučaju ^{238}Pu , kako je prethodno rečeno). Ipak, za početna poređenja sa koncentracijama aktivnosti koje su u zemljištu izmjerene u drugim zemljama mogu poslužiti, na primjer, podaci da je ^{238}Pu u nekultivisanom zemljištu u Bugarskoj pokazao vrijednosti do 0,0514 Bq/kg [23], a u Italiji – srednju vrijednost od (0,023±0,014) Bq/kg [24]. Aktivnost $^{239+240}\text{Pu}$ u istim zemljištima u Italiji imala je srednju vrijednost (0,721±0,456) Bq/kg [24]. Konačno, u prilog tome da konkretno mjesto uzorkovanja, kao i primijenjena metoda mjerenja, veoma utiču na određivanje/procjene nivoa koncentracija radionuklida, posebno su razmatrana ponovljena mjerenja ^{137}Cs na istim lokacijama na kojima je mjereno 1994. godine *in situ* metodom (tabela 5), i poređenja su data na slici 3.



Slika 3. Mjerenje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u površinskom sloju zemljišta sa iste lokacije

6. ZAKLJUČAK

Prva mjerenja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs izvršena na Prirodno-matematičkom fakultetu u Podgorici nakon akcidenta u Černobilju 1986. godine, sistematska mjerenja vršena u Crnoj Gori krajem 1994. godine korišćenjem *in situ* gama spektrometrijskog metoda, te mjerenja izvršena kasnije, u zemljištu uzorkovanom i mjerenom 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2010, 2011. godine, uz alfaspektrometrijska mjerenja izotopa plutonijuma u 7 uzoraka zemljišta, pokazala su sljedeće:

- izotopi plutonijuma, prisutni u zemljištu Crne Gore, potiču od globalnog *fallout*-a (testiranja nuklearnog naoružanja, SNAP-9A akcidenta...), tj. nema iole značajnog doprinosa akcidenta u Černobilju 26. aprila 1986. godine – kontaminiranosti teritorije Crne Gore izotopima ^{238}Pu i $^{239+240}\text{Pu}$;
- danas prisutni ^{137}Cs u zemljištu Crne Gore dominantno je černobiljskog porijekla. Mjerenja izvršena 1994. godine, na 47 lokacija, rezultovala su opsegom njegovih koncentracija aktivnosti od 10 do 740 Bq/kg, dok su površinski slojevi zemljišta na 24 lokacije (2011. godine) pokazali maksimum od oko 413 Bq/kg;
- korišćenje utvrđenog (2011. godine) korelacionog koeficijenta, tj. odnosa aktivnosti ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ u zemljištu, obezbjeđuje procjenu nivoa kontaminiranosti teritorije u nekom trenutku nakon akcidenta u Černobilju, dok su za preciznije procjene nivoa kontaminacije izotopom ^{238}Pu potrebne dodatne analize;
- procjene nivoa aktivnosti $^{239+240}\text{Pu}$ na jednoj lokaciji na Žabljaku su – 8,26 Bq/kg (2011. godine), a u jednom uzorku zemljišta iz date oblasti (između Žabljaka i Pljevalja) mjerenja su pokazala srednju aktivnost istog izotopa u iznosu 8,3 Bq/kg.

7. LITERATURA

- [1] M. Turner, M. Rudin, J. Cizdziel, V. Hodge. Excess plutonium in soil near the Nevada Test Site, USA. Environ. Pollut. 125 (2003) 193-203.
- [2] F. I. Pavlotskaja, B. F. Mjasoedov. Plutonium u zemljištu. Priroda 5 (1991) 57-61 (na ruskom jeziku).
- [3] M. Yamamoto, A. Tsumura, Y. Katayama, T. Tsukatami. Plutonium isotopic composition in soil from the former semipalatinsk nuclear test site. Radioch. Acta 72 (1996) 209-215.
- [4] K. Irlweck, J. Wicke. Isotopic composition of plutonium immissions in Austria after the Chernobyl accident. J. Radioanal. Nucl. Chem. 227 (1998) 133-136.
- [5] P. Carbol, D. Slatie, N. Erdmann, T. Nysten, M. Betti. Deposition and distribution of Chernobyl fallout fission products and actinides in a Russian soil profile. J. Environ. Radioact. 68 (2003) 27-46.
- [6] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes. Annex E: Exposures resulting from nuclear explosions. United Nations, New York, 1982.
- [7] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes. Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident. United Nations, New York, 2000.

- [8] P. Vukotić, N. Antović, S. Dapčević, G. I. Borisov, V. V. Kuzmich, V. M. Kulakov, M. Mirković, M. Pajović, R. Svrkota, B. Fuštić, G. Đuretić, A. Dlabač. Background gamma-radiation in Montenegro. In: Proc. IRPA Reg. Symp. Radiation protection in neighbouring countries of Central Europe, pp. 477-479, Prague, Czech Republic, 8-12. 09. 1997.
- [9] L. Saračević, A. Mihalj, R. Kljajić, D. Hasanbašić, E. Horšić, Z. Milošević. Migracija Sr-90 i Cs-137 u tlu u zavisnosti od vrste tla i nadmorske visine. Zbornik XII jugoslovenskog simpozijuma o zaštiti od zračenja, str. 124-127, Ohrid, Jugoslavija, 31.05-03. 06. 1983.
- [10] G. I. Borisov, V. V. Kuzmič, V. M. Kulakov, P. Vukotić, S. Dapčević, N. Antović, M. Mirković, M. Pajović, R. Svrkota, B. Fuštić, G. Đuretić. Černobiljski cezijum u tlu Crne Gore, osam godina poslije akcidenta. Zbornik radova savjetovanja „Černobilj, 10 godina posle” Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, str. 79-83, Budva, Crna Gora, 04-07. 06. 1996.
- [11] Nevenka M. Antović, Perko Vukotić, Nikola Svrkota, Sergej K. Andruhovič. Odnosi aktivnosti izotopa plutonijuma i ^{137}Cs za zemljište u Crnoj Gori. Zbornik radova XXVI simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, str. 88-91, Tara, Srbija, 12-14. 10. 2011.
- [12] HASL-300. EML Procedures Manual. Environmental Measurements Laboratory, U. S. Department of Energy, 28 Edition, 1997.
- [13] IAEA. Measurement of radionuclides in food and the environment (a guidebook). Technical report. Ser. No. 295, 1989.
- [14] P. Vesterbacka, V. P. Vartti, T. Heikkinen, T. K. Ikaheimonen. High-grade radiochemical analyses act a basis for good assessment in radiation protection. In: Proc. Third European IRPA Congress, Helsinki, Finland; <http://www.irpa2010europe.com/proceedings/P12/P12-10.pdf> (2010).
- [15] Nevenka M. Antović, Perko Vukotić, Nikola Svrkota, Sergey K. Andrukhoivič. Reconstruction of the Montenegro territory contamination with $^{239+240}\text{Pu}$ isotopes in 1994. Bull. Monten. Acad. Sci. Arts 20 (2014) 159-169.
- [16] Nevenka M. Antovic, Perko Vukotic, Nikola Svrkota, Sergey K. Andrukovich. An estimation of ^{238}Pu activity in Montenegro soil using the $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratio. In: Proc. Int. Conf. on Radiation and Applications in Various Fields of Research RAD 2012, pp. 227-230, Niš, Serbia, 25-27. 04. 2012.
- [17] Nevenka M. Antović, Perko Vukotić, Nikola Svrkota. Reconstruction of the Montenegro territory contamination with ^{238}Pu using $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratio. Rad prezentovan na IRPA 14 (Cape Town, South Africa, 09-13. 05. 2016).
- [18] Nevenka M. Antovic, Perko Vukotic, Nikola Svrkota, Sergey K. Andrukovich. First measurements of ^{238}Pu and $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ activity ratio in Montenegro soil. J. Radioanal. Nucl. Chem. 293 (2012) 299-302.
- [19] Nevenka M. Antovic, Perko Vukotic, Nikola Svrkota, Sergey K. Andrukovich. Pu-239+240 and Cs-137 in Montenegro soil: their correlation and origin. J. Environ. Radioactiv. 110 (2012) 90-97.
- [20] Nevenka M. Antović, Danilo S. Bošković, Nikola R. Svrkota, Ivanka M. Antović. Radioactivity in soil from Mojkovac, Montenegro, and assessment of radiological and cancer risk. Nucl. Technol. Radiat. Prot. 27 (2012) 57-63.
- [21] N. M. Antović, N. Svrkota, I. Antović, R. Svrkota, R. Žižić, D. Živković. Radioactivity impact assessment of Nikšić region in Montenegro. J. Radioanal. Nucl. Chem. 302 (2014) 831-836.
- [22] K. Bunzl, W. Kracke, W. Schimmack. Migration of fallout $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{137}Cs in the various horizons of a forest soil under pine. J. Environ. Radioactiv. 28 (1995) 17-34.
- [23] L. Popov, G. Mihailova, I. Naidenov. Determination of activity ratios of 238 , $^{239+240}$, ^{241}Pu , ^{241}Am , $^{134,137}\text{Cs}$ and ^{90}Sr in Bulgarian soils. J. Radioanal. Nucl. Chem. 285 (2010) 223-237.

- [24] G. Jia, C. Testa, D. Desideri, F. Guerra, M. A. Meli, C. Roselli, M. E. Belli. Soil concentration, vertical distribution and inventory of plutonium, ^{241}Am , ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Marche Region of Central Italy. *Health Phys.* 77 (1999) 52-61.

PU-239+240 AND PU-238 IN SOILS OF MONTENEGRO – ORIGIN AND ACTIVITY CONCENTRATIONS

Nevenka M. ANTOVIĆ¹, Perko VUKOTIĆ², Nikola SVRKOTA³, Sergej K. ANDRUKHOVIĆ⁴

1) *Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica, Montenegro*

2) *Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Podgorica, Montenegro*

3) *Centre for ecotoxicological research, Podgorica, Montenegro*

4) *Institute of Physics, Academy of Sciences, Minsk, Belarus*

The measurements of $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu activity concentration in soil samples from Montenegro, together with ^{137}Cs activity measurements in the same samples, were used to determine the activity ratios enabling a discussion about origin of these radionuclides, as well as estimating Pu isotopes level in soils at the territory of Montenegro. The $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ activity ratio was found to be with an average of 0.020 and standard deviation of 0.007, the $^{238}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ – with an average of 0.0006 and standard deviation of 0.0003, the $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ – with an average of 0.030 and standard deviation of 0.007, confirming that plutonium isotopes, today present at the territory of Montenegro, originated from the global fallout. These, as well as the other results showed that ^{137}Cs today present at the territory of Montenegro predominantly has the Chernobyl's origin. Based on ^{137}Cs activity concentrations in the Montenegro soils measured in the period 1994-2011, using *in situ* and standard laboratory HPGe spectrometric method, levels of soil contamination with plutonium isotopes have been evaluated and discussed – for 91 locations (67 – surface soil only, 24 – layers: (0-5) cm, (5-10) cm and (10-15) cm). The highest measured ^{137}Cs activity in top soils in 1994 was 740 Bq/kg, in 2001 – 1710 Bq/kg, in 2002 – 2011 Bq/kg, in 2011 – 413 Bq/kg, while the highest estimated (and measured) $^{239+240}\text{Pu}$ in 2011 – 8.3 Bq/kg.

CIP - Каталогизација у публикацији –
Народна библиотека Србије, Београд

614.876(082)

621.311.25(477.41)(082)

504.5:539.16(497.11)(082)

ЧЕРНОБИЉ : 30 година после : монографија / уредник
Гордана Пантелић. - Београд : Институт за нуклеарне науке
"Винча", Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту
животне средине "Заштита" : Друштво за заштиту од зрачења
Србије и Црне Горе, 2016 (Београд : Институт за нуклеарне
науке "Винча"). - 286 стр. : илустр. ; 25 cm

Тираж 150. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-7306-138-2 ("Винча")

1. Пантелић, Гордана [уредник]

а) Нуклеарна електрана "Чернобил" - Хаварија - Зборници

б) Животна средина - Загађење радиоактивним материјама

- Србија - Зборници с) Несреће у нуклеарним електранама

- Последице - Зборници д) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452