

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

RADIOCEZIJUM U ŽIVOTNOJ SREDINI PLANINSKIH REGIONA NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE

Branislava MITROVIĆ¹, Jelena AJTIĆ¹, Svetlana GRDOVIĆ¹, Velibor ANDRIĆ¹, Marko LAZIĆ² i Borjana VRANJEŠ¹

1) *Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, slavatab@vet.bg.ac.rs*

2) *Student Fakulteta veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija*

Rezime

Tokom 1987–2013. godine vršena su ispitivanja na planinama Kopaonik, Tara, Maljen i Zlatibor, sa ciljem da se utvrdi sadržaj ¹³⁷Cs u ovim područjima i njegova migracija kroz lanac ishrane. Specifična aktivnost ¹³⁷Cs u zemlji, travi, senu, mleku, mlečnim proizvodima, mesu i biljnim čajevima određena je standardnom metodom spektrometrije gama zračenja na poluprovodničkim detektorima. Rezultati pokazuju da je černobiljski radiocezijum i dalje prisutan u životnoj sredini. U svim karikama lanca ishrane: zemljište – biljke – proizvodi životinjskog porekla, tokom 2000–2007. godine na Tari i Maljenu, detektovan je radiocezijum, a najviši stepen kontaminacije nađen je u uzorcima sa područja Maljena. Međutim, u uzorcima sa Kopaonika koji su prikupljeni 2013. godine, radiocezijum nije detektovan u mleku, siru niti u mesu. Razlike u nivou kontaminacije zemljišta na ispitivanim lokacijama posledica su razlika u količini padavina posle černobiljskog akcidenta, nadmorske visine, karakteristika reljefa, sastava zemljišta i vrste biljaka. Najviša specifična aktivnost ¹³⁷Cs u lekovitom bilju sakupljenom tokom 2011–2012. godine u planinskim područjima, izmerena je u vrsti V. myrtillus.

1. UVOD

Akcident u nuklearnoj elektrani u Černobilju 26. aprila 1986. godine doveo je do radioaktivne kontaminacije životne sredine na prostoru bivše Jugoslavije. Merenja aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine u Srbiji započela su neposredno posle nesreće. Među ovlašćenim institucijama za kontrolu radioaktivnosti životne sredine i naučnim institutima i fakultetima koji su učestvovali u merenjima, bio je i Veterinarski fakultet Univerziteta u Beogradu.

Već 28. aprila 1986. godine u Laboratoriji za radijacionu higijenu ovog fakulteta počela su kontinuirana merenja. Uzorkovanje je vršeno na teritoriji Srbije, a uzorci su obuhvatali kišnicu, travu, namirnice životinjskog i biljnog porekla, kao i hranu za životinje [1]. Tokom maja te godine, u laboratoriji je izmereno više od 1300 uzoraka sa preko 60 lokacija u Srbiji [2]. Sistematska kontrola aktivnosti radionuklida nastavljena je do 1988. godine, a ¹³⁷Cs do sredine 1990-ih. Kasnija merenja vršena su u okviru zasebnih naučnih studija.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja aktivnosti ¹³⁷Cs u životnoj sredini pojedinih planinskih područja Srbije, sa posebnim osvrtom na rezultate dobijene u okviru naučne aktivnosti koja se sprovodi na Fakultetu veterinarske medicine Univerziteta u Beogradu. Aktivnost ¹³⁷Cs u zemlji, travi, senu, mleku, mlečnim proizvodima, mesu i biljnim

чајевима одређивана је standardnom metodom spektrometrije gama zračenja na poluprovodničkim detektorima.

2. CEZIJUM-137 U ŽIVOTNOJ SREDINI

Dugoživeći proizvedeni radionuklid ^{137}Cs (period poluraspada 30,07 godina) jedan je od najbitnijih fisionih produkata. Rastvorljiv je u vodi i toksičan čak i u malim količinama. Zbog svog dugog perioda poluraspada, ^{137}Cs ostaje prisutan u životnoj sredini više decenija, te predstavlja značajan faktor rizika od kancera.

Biljke usvajaju ^{137}Cs iz zemlje i vazduha. Mahovine su se pokazale kao dobri bioindikator za kontaminaciju ovim radionuklidom [3], iako se on može detektovati i u višim biljkama [4]. Životinje i ljudi ^{137}Cs unose inhalacijom i ingestijom. Kako je cezijum hemijski analog kalijuma, njegova koncentracija u hrani životinjskog porekla u velikoj meri zavisi od koncentracije kalijuma [5]. Cezijum je u telu uglavnom ravnomerno raspoređen. Biološko vreme poluraspada ^{137}Cs iznosi 70 dana [6-8].

Višegodišnja merenja sprovedena u Srbiji pre 1986. godine pokazala su da je srednja vrednost jačine ekspozicione doze gama zračenja u vazduhu bila (0,9–1,1) pC/kgs, a vrednost srednje godišnje apsorbovane doze gama zračenja (0,44–2,02) mGy [2]. Specifična aktivnost ^{137}Cs u vazduhu na teritoriji Srbije bila je reda 10^{-5} Bq/m³, a u zemljištu 5 Bq/kg, dok je u najvećem broju biljaka bila ispod praga detekcije [5, 9].

Procenjeno je da je na teritoriji SFRJ tokom 1986. godine deponovano oko 2,4% od ukupne količine emitovanih radionuklida tokom černobiljskog akcidenta, a ukupna depozicija cezijuma u Srbiji bila je reda 5 kBq/m² [10]. U zemljištu na teritoriji Srbije, ^{137}Cs bio je neravnomerno raspoređen – njegova specifična aktivnost kretala se od nekoliko Bq/kg do nekoliko stotina Bq/kg [2]. Najveći nivo kontaminacije zemljišta izmeren je na području Zlatibora, Ovčar Banje i Užičke Požege [11].

2.1. Kopaonik

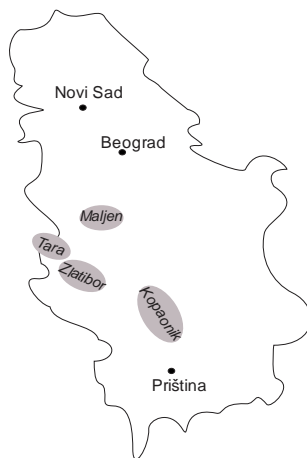
Kopaonik se nalazi na jugo-zapadu Srbije (slika 1). Nadmorska visina najvišeg vrha, Pančičev vrh, iznosi 2017 m. Klima je subalpska, a srednja godišnja količina padavina iznosi oko 1000 mm. Ovaj planinski masiv čine graniti, granadioriti i kvarcdioriti poznati po bogatom sadržaju prirodnih radioaktivnih elemenata, što doprinosi povećanju prirodnog gama fona.

U organizaciji Veterinarskog fakulteta, Katedre za radiologiju i radijacionu higijenu i „Mladih istraživača Srbije”, tokom 1987. i 1988. godine sprovedena je velika istraživačka akcija na području Kopaonika [12]. Izmerena jačina ekspozicione doze 1987. godine bila je (1,16–3,02) pC/kgs i varirala je sa nadmorskom visinom, količinom atmosferskog taloga i geološkog sastava tla. Tokom 1988. godine, jačina ekspozicione doze na istim lokacijama smanjila se na (1,16–1,92) pC/kgs.

Na Kopaoniku 1987. godine, sadržaj ^{137}Cs u zemljištu kretao se od 29 Bq/kg na području Raške (nadmorska visina 541 m) do 217 Bq/kg na Pančičevom vrhu (2017 m), u proseku 89,6 Bq/kg [12].

Istraživanja sprovedena na istim lokacijama 2013. godine [13] pokazala su da je radiocezijum i dalje prisutan u životnoj sredini Kopaonika. Najviša specifična aktivnost ^{137}Cs u zemljištu izmerena je u podnožju planine, u Jošanjičkoj banji (142 Bq/kg), dok je na ostalim lokacijama u proseku bila dvostruko niža, što se objašnjava dužinom njegovog perioda poluraspada i geološkim karakteristikama zemljišta.

U uzorcima sena prikupljenim 1987. godine detektovan je visok sadržaj ^{137}Cs , naročito na području Gobelje i Pančičevog vrha gde su i izmerene najviše vrednosti (1112–1160) Bq/kg. Maksimalne vrednosti izmerene 2013. godine bile su do 1,7 Bq/kg (tabela 1).



Slika 1. Mapa Srbije sa planinama Maljen, Tara, Zlatibor i Kopaonik

Na teritoriji Srbije tokom maja 1986. godine, maksimalna koncentracija ^{137}Cs u mleku iznosila je više stotina Bq/kg [10, 14], a već naredne godine u uzorcima mleka sa Kopaonika izmerene su značajno niže vrednosti [12]. Sadržaj ^{137}Cs u uzorcima kravljeg mleka tokom 1987. godine bio je manji nego u ovčijem mleku (tabela 1) što se objašnjava različitim načinom ishrane životinja.

Merenja radionuklida u surutki i mleku u prahu tokom 1986. i 1987. godine pokazala su povišenu specifičnu aktivnost ^{137}Cs koja je, međutim, bila zanemarljiva ukoliko su se ovi proizvodi koristili kao sirovine u daljoj preradi hrane za čoveka i životinje [15]. Veća specifična aktivnost ^{137}Cs u goveđem i ovčijem mesu u odnosu na mleko ovih životinja posledica je većeg koeficijenta prelaza za meso nego za mleko. Za goveđe meso koeficijent prelaza je 0,022 d/kg, kravlje mleko 0,0046 d/l, ovčije meso 0,19 d/kg i ovčije mleko 0,058 d/l [16]. U goveđem mesu tokom maja 1986. godine na teritoriji Srbije izmerene su maksimalne vrednosti koncentracije ^{137}Cs od 330 Bq/kg [10] koliko su iznosile i maksimalne vrednosti izmerene godinu dana kasnije u uzorcima goveđeg mesa sa Kopaonika [12].

Istraživanja sprovedena dvadeset i sedam godina kasnije [13] pokazala su da, iako je ^{137}Cs i dalje bio prisutan u zemljištu, njegov sadržaj u senu i kravljem mleku bio je nizak, što ukazuje da nije uključen u animalni deo lanca ishrane. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima drugih studija izvedenih na teritoriji Srbije. Na primer, u pojedinim uzorcima lucerke (*Medicago sativa*) iz 2004. godine, ^{137}Cs bio je prisutan u tragovima [17]. Takođe, u uzorcima hrane za ljude i životinje prikupljenih tokom 2001–2005. godine, aktivnost ^{137}Cs dostigla je vrednosti pre nesreće u Černobilju [18].

Sa druge strane, sadržaj ^{137}Cs u medu, koji se pokazao kao dobar bioindikator radiokontaminacije, opao je na predčernobiljski nivo u roku od godinu dana. Naime, koncentracija ^{137}Cs u medu u Srbiji pre nesreće iznosila je 2,4 Bq/kg, tokom maja–juna 1986. godine 69 Bq/kg, a u novembru–decembru iste godine 101 Bq/kg [19, 20]. Tokom 1986. godine, direktna kontaminacija putem folauta dovela je do visoke koncentracije

^{137}Cs у међу, а већ наредне године, када ^{137}Cs до меда стиже путем контаминације земља–корен, садржај ^{137}Cs у међу опео је на 3,0 Bq/kg [19].

Табела 1. Специфична активност ^{137}Cs (Bq/kg) у узорцима са Копанника (средња вредност ± стандардна девијација)

Врста узрока	1987 ^[12]		2013 ^[13]	
	min	max	min	max
земља	29 ± 2	217 ± 2	6,0 ± 0,2	142 ± 4
сено*	12 ± 4	1160 ± 20	0,5 ± 0,1	1,7 ± 0,3
кравље млеко	8 ± 1	79 ± 3	< 0,1	< 0,1
крављи сир	12 ± 2	33 ± 2	-	-
овчје млеко	40 ± 5	100 ± 3	-	-
овчји сир	18 ± 2	72 ± 6	-	-
говеђе месо	18 ± 2	330 ± 10	-	-
маховина*	-	-	9,4 ± 0,4	228 ± 7

*сува маса узорка

Висок ниво ^{137}Cs у маховинама потврђује да су оне добри биоиндикатори радиоактивног загађења, јер у поређењу са биљкама имају већу способност акумулације радионуклида [21, 22]. У узорцима маховина са подручја Копанника 2000. године, специфична активност ^{137}Cs била је (1011–3646) Bq/kg [23], док је 2013. године садржај ^{137}Cs био десетоstrуко мањи (табела 1). Поређења ради, у узорцима маховине из јужне Србије, сакупљеним током 2004. године, измерен садржај овог изотопа такође је износио око 200 Bq/kg иако је измерена нижа концентрација ^{137}Cs у узорцима земљишта [24]. Са друге стране, у маховинама које су у студији активног биомониторинга биле изложене аеро загађењу у Београду током 2006–2007. године, специфична активност ^{137}Cs није прелазила 35 Bq/kg [25], док је у узорцима ваздуха у том периоду концентрација ^{137}Cs била испод прага детекције [26].

2.2. Тара и Малјен

Планине Тара и Малјен изграђене су углавном од серпентинита, крећњачких стена и шкриљца. Серпентинит је стена ултрабазичног карактера богата магнезијумом, а сиromaшна калијумом, натријумом, калцијумом и фосфором [27]. Земљишта образована на њима су сува и топла. Планина Тара (слика 1) налази се у западној Србији, и припада Динарским Алпима. Највиши врх Таре је Збориште са надморском висином од 1544 м. Клима је умерено континентална са релативно високом релативном влажношћу ваздуха. Средња годишња количина падавина је нешто испод 1000 мм. Земљиште на Тари углавном је необрађено. Планина Малјен (слика 1) налази се јужно од Валјева и припада венцу валјевских планина које су завршни масив Динарског система у западној Србији. Највиши врх је Краљев сто са надморском висином од 1104 м.

Средња јаčina експозиционе дозе гама зрачења у ваздуху током 1983–1984. године на Тари била је нешто изнад средње вредности за Србију, а на истим локацијима у априлу и мају 1986. на отвореном измерена је 2–3 пута виша јаčina експозиционе дозе [28].

Пре нуклеарне несреће у Чернобилју, средња активност ^{137}Cs у узорцима земље са Таре, била је мања од 5 Bq/kg [2], а у узорцима из 1991. године, кретала се између 126 Bq/kg и 1600 Bq/kg [29]. Мерење узорака земље са Таре показала су да на планини постоје две радиолошке регије. Нижи степен радиоактивности измерен је углавном у крећњачким

stenama, dok je u stenama škriljca zabeležen viši nivo radioaktivnosti [28]. Sadržaj ^{137}Cs u površinskom sloju zemlje bio je viši nego u dubljim slojevima [29]. Kako su za krečnjačko zemljište transfer faktori zemlja–biljka viši nego za škriljac, sadržaj ^{137}Cs izmeren 1991. godine u površinskom sloju zemljišta bio je niži u uzorcima krečnjaka nego škriljca [30].

U periodu 2002–2007. godine, na području planina Tara i Maljen sakupljani su uzorci zemlje, trave, mleka, sira i mesa [31]. Sadržaj ^{137}Cs i ^{40}K u ispitivanim uzorcima dat je u tabelama 2 i 3. Viši stepen kontaminacije u uzorcima iz životne sredine utvrđen je na području planine Maljen. Na primer, rezultati su pokazali da je ^{137}Cs prisutan u zemljištu na oba ispitivana lokaliteta, ali je na području Maljena sadržaj ^{137}Cs bio viši oko 2,5 puta (tabele 2 i 3). U uzorcima trave sa Maljena takođe je detektovan viši nivo ovog izotopa, ali je ta koncentracija značajno niža od koncentracije izmerene u uzorcima trave iz južne Srbije koji su prikupljeni tokom 2005. godine [32].

U uzorcima sa Tare i Maljena, detektovan je radiocezijum u svim karikama lanca ishrane: zemljište – biljke – proizvodi životinjskog porekla, a najviše u mleku i mesu ovaca i koza (tabele 2 i 3). Mali preživari prilikom paše zajedno sa zelenom travnom masom unose i zemlju što doprinosi znatno većem stepenu kontaminacije ovaca u odnosu na krave [33].

Najviši nivo ^{137}Cs izmeren je u uzorcima gljiva sa područja Maljena (tabela 3), što potvrđuje da su gljive dobri bioindikator radioaktivnog zagađenja.

Tabela 2. Specifična aktivnost ^{40}K i ^{137}Cs (Bq/kg) u uzorcima sa Tare (srednja vrednost \pm standardna devijacija)

Vrsta uzorka	^{40}K	^{137}Cs
zemlja	238 \pm 4	98 \pm 6
trava*	316 \pm 10	5,1 \pm 0,5
kravlje mleko	117 \pm 6	< 0,5
ovčije mleko	42 \pm 1	2,9 \pm 0,5
ovčije meso	109 \pm 4	6,5 \pm 1,1

* suva masa uzorka

2.3. Sadržaj ^{137}Cs u lekovitom bilju sa Tare, Maljena i Zlatibora

U narodnoj medicini lekovito bilje koristi se kao potporna terapija u lečenju različitih poremećaja i bolesti kod ljudi. Pored plantažno gajenih lekovitih biljaka, koriste se i samonikle biljke iz prirode koje mogu sadržati radioaktivne elemente [34]. Kako ingestija predstavlja glavni put radioaktivne kontaminacije ljudi, povišena radioaktivnost lekovitih biljaka može doprineti povećanju radijacionog opterećenja ljudi, zbog čega je neophodna njihova kontrola.

U tabeli 4 date su aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u lekovitom bilju koje je sakupljeno tokom 2011–2012. godine na području planina Maljen, Zlatibor i Tara. Posle nesreće u Černobilju, specifična aktivnost ^{134}Cs i ^{137}Cs na području Republike Srbije bila je do 5000 Bq/kg [35]. Rezultati gamaspektrometrijske analize lekovitih čajeva pokazala su prisustvo ^{137}Cs , ali i značajno smanjenje njegove aktivnosti u odnosu na period neposredno posle akcidenta [36]. Varijacije u sadržaju ^{137}Cs posledica su različitog nivoa

kontaminacije zemljišta na ispitivanim lokacijama, geohemijskih karakteristika zemljišta, biljne vrste, uslova rasta i meteoroloških uslova.

Tabela 3. Specifična aktivnost ^{40}K i ^{137}Cs (Bq/kg) u uzorcima sa Maljena (srednja vrednost \pm standardna devijacija)

Vrsta uzorka	^{40}K		^{137}Cs	
	min	max	Min	max
zemlja	70 \pm 2	450 \pm 5	19 \pm 1	259 \pm 1
trava*	197 \pm 6	722 \pm 21	< 0,3	9,3 \pm 0,2
kravlje mleko	63 \pm 2	88 \pm 3	< 0,1	6,9 \pm 0,2
ovčije mleko	53 \pm 2	87 \pm 3	0,9 \pm 0,1	22 \pm 2
kozije mleko	98 \pm 3	120 \pm 4	< 0,1	24 \pm 1
kravlji sir	43 \pm 3	66 \pm 2	< 0,2	3,6 \pm 0,1
ovčije meso	130 \pm 4	160 \pm 5	< 0,2	46 \pm 2
gljive*	97 \pm 3	142 \pm 6	93 \pm 3	385 \pm 11

*suva masa uzorka

Tabela 4. Specifična aktivnost ^{40}K i ^{137}Cs (Bq/kg suve mase uzorka) u biljnim čajevima prikupljenim na Maljenu, Zlatiboru i Tari (srednja vrednost \pm standardna devijacija)

Biljni čaj	Maljen		Zlatibor		Tara	
	^{40}K	^{137}Cs	^{40}K	^{137}Cs	^{40}K	^{137}Cs
<i>Achillea millefolium</i> L.	440 \pm 21	8,5 \pm 0,9	580 \pm 24	4,7 \pm 0,7	610 \pm 27	3,6 \pm 0,6
<i>Calluna vulgaris</i> Hull	220 \pm 11	45,0 \pm 1,7	-	-	-	-
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	432 \pm 7	3,3 \pm 0,5	420 \pm 16	0,7 \pm 0,3	-	-
<i>Geranium robertianum</i> L.	405 \pm 20	3,2 \pm 0,7	630 \pm 25	2,9 \pm 0,7	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L.	260 \pm 13	4,7 \pm 0,3	330 \pm 15	2,1 \pm 0,4	-	-
<i>Mentha piperita</i> L.	980 \pm 41	0,9 \pm 0,2	560 \pm 22	2,0 \pm 0,4	600 \pm 24	0,8 \pm 0,1
<i>Primula veris</i> Huds.	840 \pm 31	36,0 \pm 2,0	710 \pm 29	15,6 \pm 0,2	-	-
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	470 \pm 19	5,9 \pm 0,6	380 \pm 18	0,9 \pm 0,1	-	-
<i>Teucrium montanum</i> L.	227 \pm 12	15,6 \pm 1,4	250 \pm 11	19,5 \pm 0,9	510 \pm 23	7,9 \pm 0,8
<i>Thymus serpyllum</i> L.	460 \pm 20	7,3 \pm 1,6	470 \pm 19	4,5 \pm 0,5	510 \pm 22	4,9 \pm 0,6
<i>Thymus vulgaris</i> L.	390 \pm 21	9,7 \pm 1,0	270 \pm 12	14,8 \pm 0,8	-	-
<i>Tussilago farfara</i> L.	-	-	1030 \pm 40	5,9 \pm 0,7	1160 \pm 39	13,9 \pm 0,8
<i>Urtica dioica</i> L.	780 \pm 29	4,4 \pm 0,7	1110 \pm 40	1,3 \pm 0,5	-	-
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	130 \pm 9	77,2 \pm 2,7	150 \pm 10	124 \pm 4	190 \pm 12	73,1 \pm 3,2

Najveća specifična aktivnost ^{137}Cs detektovana je u vrsti *V. myrtillus* (tabela 4), što je u saglasnosti sa rezultatima merenja uzoraka sa Kopaonika [37]. Ova višegodišnja biljka raste na kiselom i nutritivno siromašnom zemljištu, kao što su ispitivana zemljišta, tako da je apsorpcija i akumulacija ^{137}Cs u biljci visoka. Poređenja radi, u Finskoj, najveća koncentracija ^{137}Cs izmerena je u uzorcima borovnice prikupljenim tokom 2000–2005. godine, a sposobnost *Vaccinium myrtillus* L. da akumulira radiocezijum i ranije je primećena [38].

3. ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni višegodišnjim ispitivanjima u planinskim regionima Srbije pokazali su da je ^{137}Cs prisutan u životnoj sredini. U svim karikama lanca ishrane: zemljište – biljke – proizvodi životinjskog porekla, tokom 2000–2007. godine na Tari i Maljenu, detektovan je radiocezijum, a najviši stepen kontaminacije nađen je u uzorcima sa područja Maljena. Međutim, u uzorcima sa Kopaonika koji su prikupljeni 2013. godine, radiocezijum nije detektovan u mleku, siru niti u mesu. Razlike u nivou kontaminacije zemljišta na ispitivanim lokacijama posledica su razlika u količini padavina posle černobiljskog akcidenta, nadmorske visine, karakteristika reljefa, sastava zemljišta i vrste biljaka. U cilju boljeg razumevanja migracije i akumulacije radiocezijuma na ispitivanim lokacijama potrebno je dobijene rezultate dopuniti hemijskim i fizičkim analizama zemljišta i podacima o geološkoj podlozi. Najviša specifična aktivnost ^{137}Cs u lekovitom bilju sakupljenom 2011–2012. godine u planinskim područjima, izmerena je u vrsti *V. myrtillus*.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje” (III 43007) i „Razvoj tehnologija i proizvoda na bazi mineralnih sirovina i otpadne biomase u cilju zaštite resursa za proizvodnju bezbedne hrane” (TR 31003) koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

4. LITERATURA

- [1] D. Popović, V. Spasić-Jokić i G. Đurić. *Černobilj: Više od akcidenta*. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2009, p. 226.
- [2] D. Popović i V. Spasić-Jokić. Posledice nuklearne nesreće u Černobilju na teritoriji Republike Srbije. *Vojnosanit. Pregl.* 63 (2006) 481–487.
- [3] E. Steinnes and O. Njåstad. Use of mosses and lichens for regional mapping of ^{137}Cs fallout from the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 21 (1993), 65–73.
- [4] D. Todorović, D. Popović, J. Ajtić and J. Nikolić. Leaves of higher plants as biomonitors of radionuclides (^{137}Cs , ^{40}K , ^{210}Pb and ^7Be) in urban air. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20 (2003), 525–532.
- [5] G. Đurić and D. Popović. Influence of concentration of Ca and K on the activity level of radionuclides Sr-90 and Cs-137 in food. *Acta Vet.* 38 (1988) 209–214.
- [6] M. Eisenbud. *Environmental Radioactivity*. Academic Press, New York, 1989.
- [7] R. Kathreen. *Radionuclides in the Environment: Sources, Distribution and Surveillance*. Harwood Acad. Press, New York, 1994.
- [8] P. Enghag. *Encyclopedia of the elements*. Wiley-VCH, Weinheim, 2004.
- [9] D. Todorović, D. Popović and G. Djurić. Activity of Cs-137 in air before and after the nuclear plant accident in Chernobyl. In: D. P. Antić, ed. *Proc. Yugoslav Nuclear Society Conference*, pp.

- 635–638, Belgrade, Yugoslavia, 6-9 October 1996. Yugoslav Nuclear Society, Vinča Institute of Nuclear Sciences.
- [10] G. Djurić, D. Popović, M. Šmelcerović, B. Petrović and I. Djujić. Radioactive contamination of food and forage in SR Serbia after the Chernobyl accident. In: M. M. Ninkovic, R. S. Pavlovic and J. J. Raicevic, eds. *Radiation Protection – Selected Topics*, pp. 421–426, Dubrovnik, Yugoslavia, 2-6 October 1989. The Boris Kidric Institute of Nuclear Sciences, Radiation and Environmental Protection Department.
- [11] Savezni sekretarijat za rad, zdravstvo, boračka pitanja i socijalnu zaštitu. *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji, podaci za 1987. i 1988. godinu*. SFRJ, Beograd, 1990.
- [12] G. Mičić, M. Drašković, H. Bošnjak, B. Draganović i R. Benderać. Radijacioni gama-fon i njegov značaj za stočarsku proizvodnju na Kopaoniku. *Vet. Glas.* 43 (1989) 1113–1236.
- [13] B. Mitrović, G. Vitorović i M. Lazić. Specifična aktivnost ^{40}K i ^{137}Cs u uzorcima zemlje, sena, mahovine i mleka prikupljenih sa područja Kopaonika. *Veterinarski žurnal Republike Srpske* 14 (2015) 55–62.
- [14] D. Popovic, G. Djuric, M. Smelcerovic and B. Maksimovic. Contribution of the short lived radionuclides in food to the total radiation burden of man after the nuclear accident in Chernobyl. In: M. M. Ninkovic, R. S. Pavlovic and J. J. Raicevic, eds. *Radiation Protection – Selected Topics*, pp. 416–420, Dubrovnik, Yugoslavia, 2-6 October 1989. The Boris Kidric Institute of Nuclear Sciences, Radiation and Environmental Protection Department.
- [15] G. Đurić and D. Popović. Gamma contamination food factors for milk powder and whey. *Acta Vet.* 47 (1997) 247–252.
- [16] International Atomic Energy Agency. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical report 472, Vienna, 2010.
- [17] M. Živkov-Baloš, Ž. Mihaljev and Ž. Čupić, Content of trace elements and some radionuclides in lucerne (*Medicago sativa*). *Biotechnol. Anim. Husb.* 27 (2011) 591–598.
- [18] Lj. Javorina, G. Pantelić, M. Eremić-Savković, V. Vuletić, I. Tanasković i G. Vitorović (2007). Aktivnost Cs^{137} u ljudskoj i stočnoj hrani u regionu Vojvodine u periodu od 2001 do 2005. god. In: Kovacević, M., ed. *Proceedings of XXIV Symposium of the Radiation Protection Society of Serbia and Montenegro*, pp. 69–72, Zlatibor, Serbia, 3-5 October 2007. Institute of Nuclear Science Vinca, Radiation Protection Society of Serbia and Montenegro.
- [19] G. Djurić, D. Popović, D. Popesković and B. Petrović. The level of natural and fallout radionuclides in honey. *Acta Vet.* 38 (1988) 293–298.
- [20] G. Djuric, D. Popovic, D. Todorovic, J. Slivka and Z. Mihaljev. Natural and fallout radionuclides in different types of honey. *J. Environ. Biol.* 17 (1996) 339–343.
- [21] S. Grdović, G. Vitorović, B. Mitrović, V. Andrić, B. Petrujkić and M. Obradović. Natural and anthropogenic radioactivity of feedstuffs, mosses and soil in the Belgrade environment, Serbia. *Arch. Biol. Sci.* 62 (2010) 301–307.
- [22] A. Čučulović, D. Popović, R. Čučulović and J. Ajtić. Natural radionuclides and ^{137}Cs in moss and lichen in eastern Serbia. *Nucl. Technol. Radiat.* 27 (2012) 44–51.
- [23] S. Dragović, O. Nedić, S. Stanković and G. Bacić. Radiocesium accumulation in mosses from highlands of Serbia and Montenegro: chemical and physiological aspects. *J. Environ. Radioact.* 77 (2004) 381–388.
- [24] D. Popovic, D. Todorovic, M. Frontasyeva, J. Ajtic, M. Tasic and S. Rajsic. Radionuclides and heavy metals in Borovac, Southern Serbia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 15 (2008), 509–520.
- [25] D. Popović, D. Todorović, J. Ajtić and J. Nikolić. Active Biomonitoring of Air Radioactivity in Urban Areas. *Nucl. Technol. Radiat.* 24 (2009), 100–103.
- [26] D. Todorovic, D. Popovic, J. Nikolic and J. Ajtic. Radioactivity monitoring in ground level air in Belgrade urban area. *Radiat. Protect. Dosim.* 142 (2010), 308–313.
- [27] O. Košanin i B. Gajić. Karakteristike nekih serpentinskih zemljišta u sastojinama crnog bora na području Divčibare-Bukovi. *Šumarstvo* 4 (2008) 89–98.
- [28] G. Đurić, D. Popović, A. Sarvajić, S. Ivanković i N. Mišić. Jačina ekspozicione i apsorbovane doze gama zračenja na pčelinjim pašnjacima planine Tare. *Vet. Glas.* 46 (1992) 491–497.
- [29] D. Todorovic, D. Popovic and G. Djuric. In: *Proceedings of IRPA9*, pp. 2-684–2-686, Vienna, Austria, 14-19 April 1996. International Radiation Protection Association.

- [30] D. Popovic, D. Todorovic, V. Spasic Jokic, J. Nikolic and J. Ajtic. Contents of Radionuclides in Soils in Serbia: Dose Calculations and Environmental Risk Assessment, In: J. A. Daniels, ed. *Advances in Environmental Research. Volume 6*, pp. 91–134, Nova Science Publishers, Hauppauge, 2011.
- [31] B. Mitrović, G. Vitorović, D. Vitorović, G. Pantelić and I. Adamović. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of mountain region of Serbia. *J. Environ. Monit.* 11 (2009) 383–388.
- [32] D. Popovic, T. Bozic, J. Stevanovic, M. Frontasyeva, D. Todorovic, J. Ajtic and V. Spasic Jokic. Concentration of trace elements in blood and feed of homebred animals in Southern Serbia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 17 (2010) 1119–1128.
- [33] N. A. Beresford and B. J. Howard. The importance of soil adhered to vegetation as a source of radionuclides ingested by grazing animals. *Sci. Total Environ.* 107 (1991) 237–254.
- [34] World Health Organization. Guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. WHO, Geneva, 2007.
- [35] Lj. Petrović. Nuklearna havarija u Černobilju 1986. Prilog istraživanju ekoloških problema 20 veka. *Istorija 20. veka*, Institut za savremenu istoriju, Beograd. 2 (2010) 101–116.
- [36] B. Mitrović, S. Grdović, G. Vitorović, D. Vitorović, G. Pantelić and G. Grubić. ^{137}Cs and ^{40}K in some traditional herbal teas collected in the mountain regions of Serbia. *Isot. Environ. Health Stud.* 50 (2014) 538–545.
- [37] B. Mitrović, J. Ajtić, M. Lazić, V. Andrić, N. Krstić, B. Vranješ and M. Vićentijević. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of Kopaonik mountain, Serbia. *Environ. Pollut.* 215 (2016) 273–279.
- [38] E. Kostianinen. ^{137}Cs in Finnish wild berries, mushrooms and game meat in 2000–2005. *Boreal Environ. Res.* 12 (2007) 23–28.

RADIOCAESIUM IN THE MOUNTAIN ENVIRONMENTS IN SERBIA

**Branislava MITROVIĆ¹, Jelena AJTIĆ¹, Svetlana GRDOVIĆ¹, Velibor ANDRIĆ¹,
Marko LAZIĆ² i Borjana VRANJEŠ¹**

1) Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Belgrade, Serbia,
slavatab@vet.bg.ac.rs

2) Student at the Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Belgrade,
Serbia

To investigate content of ^{137}Cs and its migration through the food chain in mountainous regions in Serbia, environmental samples were collected over 1987–2013. Specific activity of ^{137}Cs in samples of the soil, grass, hay, milk, dairy products, meat and herbal tea plants was determined by standard gamma spectroscopy on semiconductor detectors. Samples from the mountains of Kopaonik, Tara, Maljen and Zlatibor were analysed. The results imply that the Chernobyl radioceasium is still present in the environment. Radioceasium was detected in all parts of the food chain, from the soil, through plants to animal products, in Tara and Maljen over 2000–2007. A higher level of contamination was found in the samples from Maljen. However, ^{137}Cs was not detected in the milk, cheese and meat samples that were collected from Kopaonik during 2013. Differences in the soil contamination noted across the investigated locations are a result of a number of factors, including the amount of precipitation after the Chernobyl nuclear accident, altitude, type of relief, soil and plants. The highest ^{137}Cs specific activity in herbal tea plants that were collected over 2011–2012, is measured in *V. mirtillus*.

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 d) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452