

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

СПЕЦИФИЧНА АКТИВНОСТ CS-137 У УЗОРЦИМА ЗЕМЉИШТА КОСОВА И МЕТОХИЈЕ (25 ГОДИНА НАКОН ЧЕРНОБИЉА)

Љиљана ГУЉАН

Универзитет у Приштини, Природно-математички факултет, Косовска
Митровица, Србија, ljgulan@gmail.com, ljiljana.gulan@pr.ac.rs

Резиме

У раду су представљене специфичне активности вештачког радионуклида ^{137}Cs у 74 површинска узорка земљишта (0-5 cm) на Косову и Метохији. Узорковање и мерење извршено је 25 година након акцидента у Чернобиљу. Резултати мерења показују неравномерну просторну расподелу ^{137}Cs на Косову и Метохији. Измерене вредности специфичне активности ^{137}Cs варирају у опсегу 6,2-385,0 Bq kg⁻¹, док средња вредност износи 48 Bq kg⁻¹. Три локације у Косовскомитровачком региону се издвајају по већим вредностима специфичне активности ^{137}Cs (>300 Bq kg⁻¹). Поред површинских, анализирани су и профилни узорци са дубина 10-20 cm и 20-40 cm са 14 локација; евидентан је тренд опадања активности ^{137}Cs са дубином.

1. УВОД

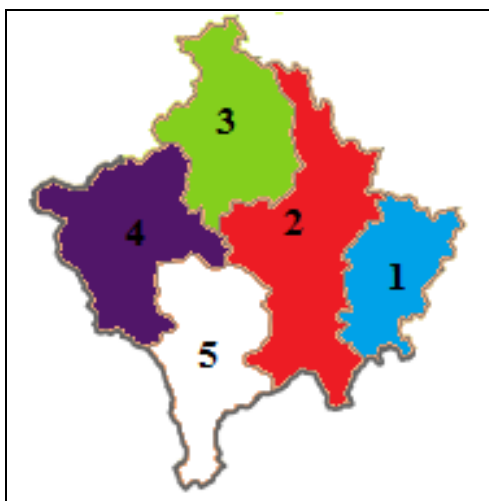
Вештачки створени радионуклиди - физиони продукти, углавном ^{137}Cs и ^{90}Sr доспели су у атмосферу услед нуклеарних експлозија у периоду 1945-1980; према UNSCEAR-у емитована активност је износила 960 PBq и 600 PBq, респективно[1]. То је условило глобалну контаминацију биосфере, с обзиром да се вештачки радионуклиди лако укључују у кружење материје, а уз то имају дуга времена полураспада и високе енергије зрачења. Након извесног мирног периода са тенденцијом смањивања антропогене радиоактивности, догодила се хаварија на нуклеарном реактору у Чернобиљу (26.04.1986. године). У периоду од 10 дана у атмосферу је избачена количина активности од 1,85 EBq вештачког радиоактивног материјала [2]. Облак радиоцезијума ношен ветром контаминирао је европске земље и северну хемисферу. Последице тог акцидента су још присутне на територији наше земље. Недавно, хаварија у нуклеарној електрани у Фукушими (11.03.2011. године) проузрокована снажним земљотресом и цунамијем, поново је контаминирала северну хемисферу. Занемарљива количина радиоактивног материјала пореклом из Фукушима (<1%), у виду ^{137}Cs и ^{131}I детектована је у земљама Европе десетак дана након хаварије на реактору [3,4].

^{137}Cs је бета емитер са временом полураспада 30,2 године. Брзо се укључује у геолошко и биолошко кружење материје, јер га коренов систем биљке лако усваја. На покретљивост цезијума осим физичкохемијских карактеристика земљишта утиче и локална конфигурација терена; у песковитом земљишту брзина продирања је већа. Процес продирања у дубље слојеве убрзава, поред тога и мањак калијума у земљишту; у облику анјона цезијум се слабо апсорбује у земљишту, што утиче на већу покретљивост. Цезијум је хемијски аналоган калијуму и прати његов метаболизам. Биолошко време полуетиминације из организма је од 10-110 дана и зависи од старосног доба и метаболизма организма.

2. ЦИЉ И МЕТОД ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање је спроведено у циљу утврђивања просторне расподеле ^{137}Cs у земљишту Косова и Метохије 25 година након акцидента у Чернобиљу, с обзиром да нема документованих података о ранијим истраживањима и мерењима активности овог вештачког радионуклида на територији јужне српске покрајине.

При узорковању земљишта примењена је процедура препоручена и прописана од Међународне Агенције за атомску енергију [5]. Узорци необрадивог земљишта (укупно 102) прикупљени су са 74 локације у четири региона на Косову и Метохији (слика 1) крајем априла 2011. године. Узорковање није спроведено у Призренском региону. Сваки узорак је добијен из 1 m^2 површине сједињавањем четири узорка са углава квадрата и једног узорка у пресеку дијагонала до дубине од 5 cm. Уз то, са 14 локација (од 74) у Косовскопоморавском и Косовском региону прикупљени су и профилни узорци земљишта са дубина 10-20 cm и 20-40 cm (узорци су узети само из средишта квадрата). Након чишћења од биљних остатака и ситног камења, узорци су хомогенизовани до гранулације мање од 2 mm, сушени на температури од 100-110 °C и паковани у Marineli посуде запремине 450 ml.

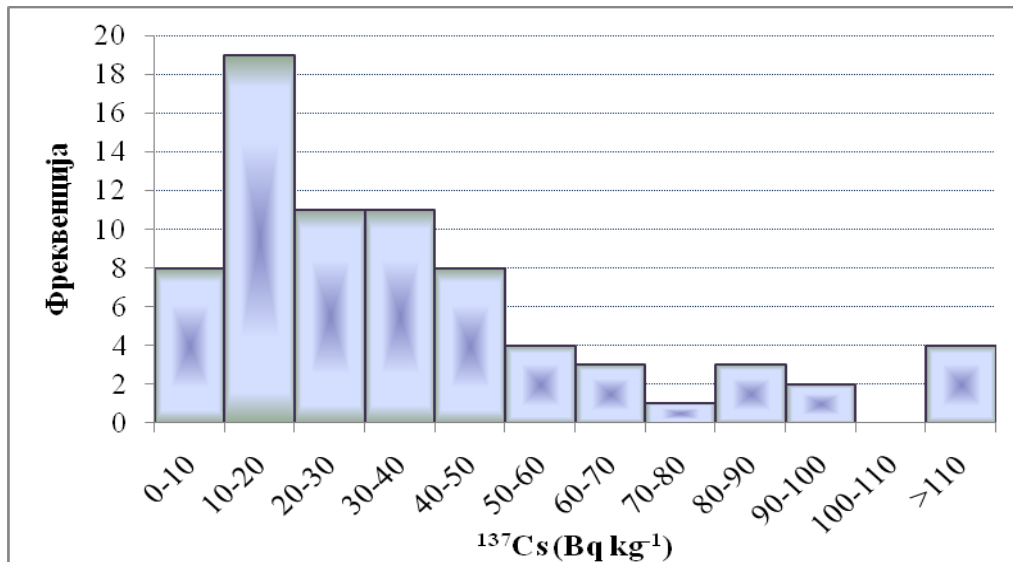


Слика 1. Регионална подела Косова и Метохије: 1-Косовскопоморавски; 2-Косовски; 3-Косовскомитровачки; 4-Пећи; 5-Призренски регион

Гамаспектрометријска мерења су извршена према стандардној методи ASTM C 1402–04 Standard guide for high resolution gamma ray spectrometry of soil samples, на Институту за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу у току лета 2011. године. Гамаспектрометријски систем за одређивање активности радионуклида у тлу чини HPGe детектор модел GEM30-70 ORTEC релативне ефикасности 32% на 1,33 MeV (^{60}Co) и вишеканални анализатор. Кућиште детектора се налази у оловној заштити дебљине 10 cm. Енергетска резолуција детектора (FWHM) је 1,85 keV на 1,33 MeV (^{60}Co) и 725 eV на 122 keV (^{57}Co). Калибрација детектора је извршена калибрационим извором чешког метролошког института, (тип 2 MBSS). Снимање спектра за сваки узорак и за фон је трајало 10800 s. За одређивање специфичне активности ^{137}Cs коришћен је интензитет гама линије на енергији 661,62 keV. Мерна несигурност је била до 10%.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Фреквентна дистрибуција специфичних активности ^{137}Cs у 74 узорка земљишта са различитих локација представљена је на слици 2. Дескриптивна статистика за дати сет вредности специфичних активности по регионима Косова и Метохије приказана је у табели 1. Специфичне активности ^{137}Cs за дати сет вредности, по Колмогоров-Смирнов тесту не подлежу ни нормалној, ни логнормалној расподели. У просеку ^{137}Cs има најмање у Косовскопоморавском региону, приближно 4 пута мање него у Косовскомитровачком региону, где се мерења разликују за два реда величине; средња специфична активност ^{137}Cs у узорцима земљишта Косовскомитровачког региона износила је $68,6 \text{ Bq kg}^{-1}$, а вредности су варирале у опсегу $6,2 - 385,0 \text{ Bq kg}^{-1}$. Велики опсег и стандардна девијација (табела 1) карактеристични су за радионуклиде антропогеног порекла. Равничарски рељефи (равница, долина, котлина) су погодни за концентрисање ^{137}Cs , што може бити разлог високих вредности на појединим локацијама у Косовскомитровачком региону (у околини Косовске Митровице на три локације вредности цезијума су веће од 300 Bq kg^{-1}). Такође, разлог може бити и нижа вредност специфичне активности калијума ^{40}K у поменутиим узорцима. Наиме, у радовима [6, 7, 8] анализирани физичко-хемијске карактеристике узорка са највећом вредношћу ^{137}Cs указују на низак проценат CaCO_3 , глине и муља, а висок проценат песка. Приказани резултати специфичних активности радионуклида у Косовској Митровици и околини указују да узорци са највећим вредностима ^{137}Cs имају најниже вредности ^{40}K , и обрнуто. Слична запажања добијена су анализом радиоактивности земљишта Копаоника [9].



Слика 2. Фреквентна дистрибуција специфичних активности ^{137}Cs у земљишту на Косову и Метохији

Неравномерну просторну расподелу ^{137}Cs у испитиваним узорцима условили су сложени начини дисперзије и депозиције након чернобиљског акцидента и нуклеарних проба, уз глобалне радиоактивне падавине и миграцију цезијума од једног места до другог кишом [10]. Ови процеси су праћени спором дифузијом

цезијума у дубље слојеве земљишта и незнатним ефектима спирања (иако трају дужи низ година), па се већина радиоактивних честица (85%) задржава у површинском слоју до 5 cm дубине [11]. Задржавање ^{137}Cs у површинским слојевима зависи и од локалног капацитета сорпције тла; цезијум се углавном везује за фине фракције глине. Поред тога, задржавање и усвајање ^{137}Cs из биљног покривача зависи од типа вегетације и климатских услова (падавина) [12].

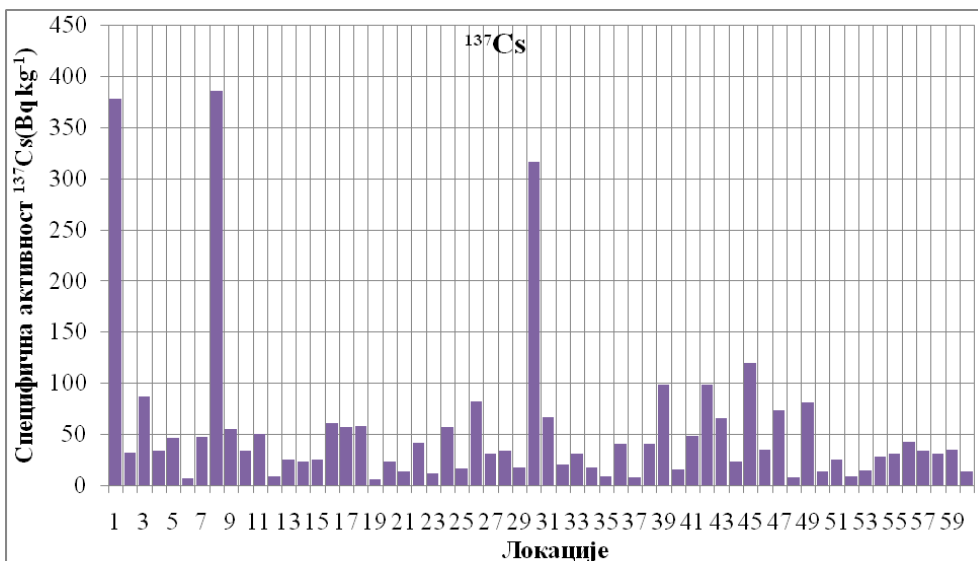
Специфичне активности ^{137}Cs у 60 површинских узорака земљишта на Косову и Метохији представљене су на слици 3.

Табела 1. Дескриптивна статистика за вредности специфичних активности ^{137}Cs у узорцима земљишта по регионима Косова и Метохије са 74 локације

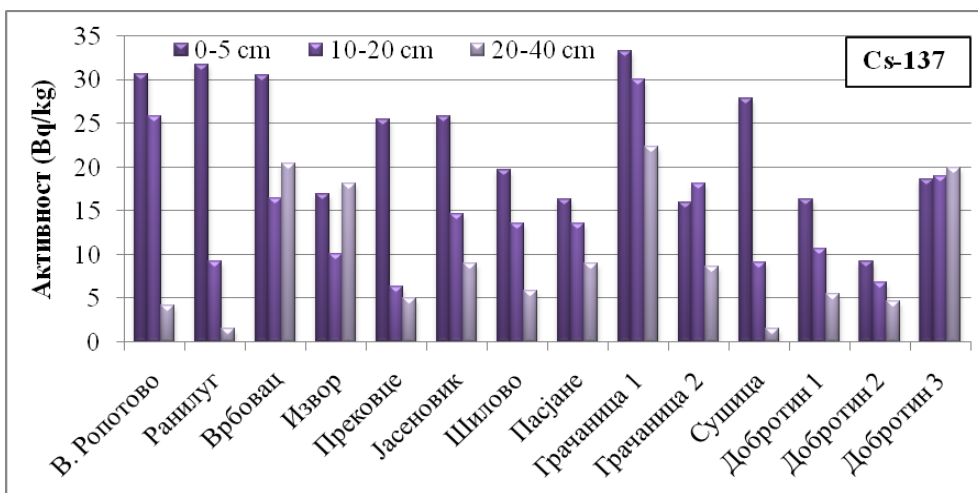
Регион (број локација)	Косовско поморавски (9)	Косовски (28)	Косовско митровачки (31)	Пећки (6)	Косово и Метохија (74)
Минимум (Bq kg^{-1})	12,3	6,9	6,2	11,2	6,2
Максимум (Bq kg^{-1})	35,0	119,5	385,0	42,5	385,0
Медијана (Bq kg^{-1})	15,0	21,7	34,0	30,8	30,6
Средња вредност (Bq kg^{-1})	17,9	35,2	68,6	29,4	48,0
Стандардна девијација (Bq kg^{-1})	7,3	31,9	99,5	10,3	69,0

Додатно, у циљу утврђивања профилне расподеле ^{137}Cs у земљишту Косовскопоморавског и Косовског региона, са 14 локација, поред површинских, анализирани су и узорци са дубина 10-20 cm и 20-40 cm. Резултати су представљени у раду [13], а ради комплетности извршеног истраживања овде су поменути и приказани на слици 4 и Табели 2. Специфичне активности ^{137}Cs у узоркованим слојевима варираше су у опсегу $1,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ до $33,3 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Средње специфичне активности ^{137}Cs према дубини (слојевима узорковања) су износиле: $19,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ (0-5 cm), $13,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ (10-20 cm) и $7,2 \text{ Bq kg}^{-1}$ (20-40 cm). Евидентна је највећа активност ^{137}Cs у првом слоју, а затим следи тренд опадања активности ^{137}Cs са дубином, што је карактеристично за необрадиво земљиште. У испитиваним узорцима једино је приметан нагли пад вредности специфичних активности ^{137}Cs са дубином у Ранилугу и Сушици (локације са највећим вредностима ^{40}K); разлог може бити успорена миграција цезијума у земљиштима богатим калијумом [2]. На другим локацијама, ефекат спирања (*wash off*) је вероватно довео до неравномерне расподеле цезијума у тлу. Истраживања показују да је вертикална дифузија цезијума спор процес, а да промена концентрације са дубином није униформна, што је очекивано за вештачке радионуклиде.



Слика 3. Специфичне активности ¹³⁷Cs у 60 површинских узорка земљишта на Косову и Метохији



Слика 4. Специфичне активности ¹³⁷Cs на 14 локација Косовскопоморавског и Косовског региона

Средња вредност специфичне активности ¹³⁷Cs у тлу на Косову и Метохији према овом истраживању за 74 локације износи 48 Bq kg⁻¹ (табела 1); четири пута је већа него у Војводини (12 Bq kg⁻¹) [14], а скоро два пута већа него у Републици Српској (26 Bq kg⁻¹) [15]. Разлог нижих вредности у Војводини је алувијално земљиште [16]. Уз то, на пораст концентрације ¹³⁷Cs значајно утиче и надморска висина која је за анализирани узорке на Косову и Метохији >500 m [17]. Средња специфична активност ¹³⁷Cs у тлу Београда према последњим студијама [18, 19] износи 29,9 Bq kg⁻¹ и 23 Bq kg⁻¹, респективно. То говори да је ¹³⁷Cs и даље присутан у земљиштима у региону у већој концентрацији захваљујући нехомогеној контаминацији и депозицији након акцидента у Чернобиљу.

Значајно мање вредности ^{137}Cs у тлу забележене су у другим земљама света: Пакистану [20] и Индији [21], и оне су вероватно последица проба нуклеарног наоружања.

Табела 2. Дескриптивна статистика за вредности специфичних активности радионуклида у профилним узорцима земљишта са 14 локација Косовскопоморавског и Косовског региона

Радионуклид/ слој земљишта		Минимум (Bq kg ⁻¹)	Максимум (Bq kg ⁻¹)	Медијана (Bq kg ⁻¹)	Средња вредност (Bq kg ⁻¹)	Стандардна девијација (Bq kg ⁻¹)
^{137}Cs	0-5cm	9,2	33,3	19,7	22,1	7,6
	10-20cm	6,3	30,1	13,6	14,2	6,8
	20-40cm	1,6	22,3	7,2	9,7	7,3

4. ЗАКЉУЧАК

На основу представљених резултата уочава се изразита варијабилност специфичних активности ^{137}Cs у 74 испитивана узорка. Локална конфигурација терена, покретљивост и трансфер ^{137}Cs кроз тле уз његове физикохемијске карактеристике значајно утичу на варијабилност специфичних активности. Различити геохемијски, биолошки и физички процеси су вероватно довели до значајних концентрација и акумулације цезијума на микролокацијама. Неправилно опадање активности по дубини на неким локацијама може бити последица састава и сорпције тла.

С обзиром да до сада нису спроведене студије о нивоима вештачке радиоактивности, тј. расподели радионуклида у тлу на територији Косова и Метохије резултати проистекли из овог рада су од значаја за заштиту животне средине испитиваних подручја. Овакви подаци могу бити референтни у случају будућих антропогених активности које могу узроковати додатне контаминације.

Захвалница

Овај рад је урађен у оквиру пројекта ИИИ41028 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] UNSCEAR. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Ionizing Radiation. Annex E: Exposures resulting from nuclear explosions. Report to the General Assembly.* United Nations, New York, 1982.
- [2] E. Van der Stricht and R. Kirchmann. *Radioecology, Radioactivity and Ecosystems.* Oupeye, Belgium, 2001.
- [3] P. Bossew. Fukushima accident influence on Europe – comparison with Chernobyl accident. IV ECE Workshop, Kragujevac, 31 October – 1 November 2011.
- [4] O. Masson и др. Tracking of Airborne Radionuclides from the Damaged Fukushima Dai-Ichi Nuclear Reactors by European Networks. *Environ. Sci. Technol.* 45 (2011) 7670–7677.
- [5] IAEA 295, International Atomic Energy Agency, *Measurement of radionuclides in food and the Environment. A guide book, Technical report series,* Vienna, 1989.
- [6] L. Gulan, B. Milenkovic, J.M. Stajic, B. Vuckovic, D. Krstic, T. Zeremski and J. Ninkov. Correlation between radioactivity levels and heavy metal content in the soils of the North Kosovska Mitrovica environment. *Environ.Sci.- Proc. Imp.* 15 (2013) 1735-1742.

- [7] Lj. Gulan, B. Milenković, J. Stajić, B. Vučković, D. Krstić, G. Milić i D. Nikezić. Sadržaj prirodnih i veštačkih radionuklida u uzorcima zemljišta Kosovske Mitrovice. XXVII Simpozijum DZZSCG, Zbornik radova, pp.101-105 Vrnjačka Banja, 2-5. Oktobar 2013.
- [8] Ljiljana Gulan, Merenje radionuklida u tlu i radona u zatvorenim prostorijama na Kosovu i Metohiji, Doktorska disertacija, Kragujevac 2014.
- [9] B. Mitrovic, J. Ajtic, M. Lazic, V. Andric, N. Krstic, B. Vranjes, M. Vicentijevic. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of Kopaonik mountain, Serbia. *Environ. Pollut.* 215 (2016) 273-279.
- [10] N. Celik, U. Cevik, A. Celik, B. Kucukomeroglu, Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. *J. Environ. Radioactiv.* 99 (2008) 1349–1354.
- [11] Lj. Janković-Mandić i S. Dragović. Radijacioni rizik usled terestričkog izlaganja za stanovništvo gradova Srbije, XXIV Simpozijum DZZSCG, Zbornik radova, pp. 63–67, Zlatibor, 3-5 Oktobar 2007.
- [12] J.C. Ritchie, J.R. McHenry. Application of radiation fallout caesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J. Environ. Qual.* 19 (1990) 215–233.
- [13] Lj. Gulan, J. Stajić, B. Vučković, J. Živković Radovanović, D. Spasić i D. Krstić, Prostorna i profilna raspodela radionuklida u tlu na nekim lokacijama na Kosovu i Metohiji, XXVIII Simpozijum DZZSCG, Zbornik radova, pp. 142-147, Vršac, 30. Septembar-02. Oktobar 2015.
- [14] I. Bikit, J. Slivka, Lj. Conkic, M. Krmar, M. Veskovic, N. Zikic –Todorovic, E. Varga, S. Curcic, D. Mrdja. *Radioactivity of the soil in Vojvodina (Northern province of Serbia and Montenegro)*. *J. Environ. Radioact.* 78 (2005) 11–19.
- [15] M. Jankovic, D. Todorovic, M. Savanovic. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska. *Radiat. Meas.* 43 (2008) 1448–1452.
- [16] S. Dimovska, T. Stafilov, R. Šajn and M. Frontasyeva. Distribution of some natural and man-made radionuclides in soil from the city of Veles (Republic of Macedonia) and its environs. *Radiat. Prot. Dosim.* 138 (2010) 144–157.
- [17] B. Mitrovic, G. Vitorovic, D. Vitorovic, G. Pantelic and I. Adamovic. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of mountain region of Serbia. *J. Environ. Monitor.* 11 (2009) 383-388.
- [18] J. Petrovic, M. Cujic, M. M. Djordjevic, R. M. Dragovic, B. A. Gajic, S.S. Miljanic, S. D. Dragovic. Spatial distribution and vertical migration of Cs-137 in soils of Belgrade (Serbia) 25 years after the Chernobyl accident. *Environ. Sci.-Proc. Imp.* 15 (2013) 1279-1289.
- [19] Lj. J. Janković-Mandić, R. M. Dragović, M. M. Đorđević, M. B. Đolić, A. E. Onjia, S. D. Dragović, G. G. Bačić, Prostorna varijabilnost ¹³⁷Cs u zemljištu Beograda (Srbija). *Hem. Ind.* 68 (2014) 449–455.
- [20] A. Kumar, R. K. Singhal, J. Preetha, K. Rupali, V. M. Joshi, A. G. Hegde and H. S. Kushwaha. Non-parametric statistical analysis in the measurement of outdoor gamma exposure to the residents around Trombay. *Radiat. Prot. Dosim.* 124 (2007) 378-384.
- [21] S. N. A. Tahir, K. Jamil, J. H. Zaidi, M. Arif and N. Ahmed. Activity concentration of ¹³⁷Cs in soil samples from Punjab province (Pakistan) and estimation of gamma-ray dose rate for external exposure. *Radiat. Prot. Dosim.* 118 (2006) 345-351.

SPECIFIC ACTIVITY OF CS-137 IN SOIL SAMPLES OF KOSOVO AND METOHİJA (25 YEARS AFTER CHERNOBYL)

Liljana GULAN

*University of Priština, Faculty of Natural Science, Kosovska Mitrovica, Serbia,
ljgulan@gmail.com, liljana.gulan@pr.ac.rs*

This paper presents the specific activity of artificial radionuclide ^{137}Cs in 74 surface soil samples (0-5 cm depth) of Kosovo and Metohija. Sampling and measurement was carried out 25 years after the Chernobyl accident. The results of measurement show uneven spatial distribution of ^{137}Cs in Kosovo and Metohija. The measured values of ^{137}Cs specific activity vary in the range 6.2-385.0 Bq kg⁻¹, and the average value is 48 Bq kg⁻¹. Three locations in the region of Kosovska Mitrovica stand out with higher values of ^{137}Cs specific activity (> 300 Bq kg⁻¹). In addition to the surface samples, profile samples from depths of 10-20 cm and 20-40 cm of 14 locations were analyzed; there is an evident trend of decreasing ^{137}Cs activity with depth.

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