



ЗБОРНИК РАДОВА



XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

2. - 4. октобар 2019. године
Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Дивчибаре
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXX SYMPOSIUM RPSSM
Divčibare
2nd - 4th October 2019**

**Belgrade
2019**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
2-4.10.2019.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник
в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-154-2

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**
Дивчибаре, од 2.10. до 4.10.2019. године

Организатори:

ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

ИНСТИТУТ ЗА НУКЛЕАРНЕ НАУКЕ „ВИНЧА“

Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Организациони одбор:

Председник: Гордана Пантелић

Чланови:

Михајло Јовић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Маја Еремић Савковић, Директорат, Београд
Никола Свркота, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора
Иван Кнежевић, Нуклеарни објекти Србије, Београд
Јелена Пајић, Институт за медицину рада Србије „Др Драгомир Карајовић“,
Београд
Кристина Бикит, Природно математички факултет, Нови Сад
Андреа Којић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Милица Рајачић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Наташа Сарап, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Никола Кржановић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Предраг Божовић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
Марко Крајиновић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Редакциони одбор:

др Невенка Антовић, Природно математички факултет, Подгорица
др Душан Мрђа, Природно математички факултет, Нови Сад
др Софија Форкапић, Природно математички факултет, Нови Сад
др Биљана Миленковић, Природно математички факултет, Крагујевац
др Јелена Стајић, Природно математички факултет, Крагујевац
др Ненад Стевановић, Природно математички факултет, Крагујевац
др Јелена Ајтић, Факултет ветеринарске медицине, Београд
др Владимир Удовичић, Институт за физику, Земун, Београд
др Наташа Лазаревић, Нуклеарни објекти Србије, Београд
др Драгана Тодоровић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Гордана Пантелић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Ивана Вуканац, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Ивана Смичиклас, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Марија Јанковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Милош Живановић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Оливера Цирај-Бјелац, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд
др Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Организацију су помогли:

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине

Излагачи:

Canberra Packard Central Europe GmbH.

Wienersiedlung 6

2432 SCHWADORF, Austria

Phone: +43 (0)2230 3700-0

Fax: +43 (0)2230 3700-15

Web: <http://www.cpce.net/>

LKB Vertriebs GmbH, Представништво Београд

Цвијићева 115

11120 Београд, Србија

Тел: +381 (0)11 676 6711

Факс: +381 (0)11 675 9419

Веб: www.lkb.eu

Овај Зборник је збирка радова саопштених на XXX Симпозијуму Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе који је одржан од 2.10. до 4.10.2019. године на Дивчибарама. Радови су разврстани у 11 секција. И поред тога што су сви радови у Зборнику рецензирани од стране Редакционог одбора, за све изнесене тврдње и резултате одговорни су сами аутори.

Југословенско друштво за заштиту од зрачења основано је 1963. године у Порторожу, а од 2005. године носи име Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе.

Ове године Друштво обележава 56 година организоване заштите од зрачења на простору бивше Југославије. Поред радова у којима се приказују најновија истраживања, у овом зборнику се налазе и прегледни радови који дају кратак сажетак и анализу објављених радова, метода и резултата са претходних 29 симпозијума. Захваљујемо се на изузетном труду аутора ових прегледних радова који су веома квалитетни и корисни, како за младе колеге, тако и за оне који су били на претходним симпозијумима или су читали претходне зборнике.

Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе је јединствена прилика да кроз стручни програм предочимо напредак у области заштите од зрачења, анализирамо досадашње резултате и актуелна дешавања, разменимо искуства са колегама из земље и региона, али и да сретнемо старе и упознамо нове пријатеље.

Организациони одбор се захваљује ауторима и коауторима научних и стручних радова на доприносу и уложеном труду. Посебно се захваљујемо спонзорима који су помогли одржавања Симпозијума.

*Организациони одбор XXX симпозијума
Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
502:504.5]:539.16(082)(0.034.2)
614.875/.876(082)(0.034.2)
539.16.04(082)(0.034.2)
539.1.074/.08(082)(0.034.2)
577.1:539.1(082)(0.034.2)

ДРУШТВО за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе (Београд). Симпозијум (30 ; 2019 ; Дивчибаре)

Зборник радова [Електронски извор] / XXX симпозијум ДЗЗСЦГ [Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе], 2- 4. октобар 2019. године, Дивчибаре, Србија ; [организатори] Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе [и] Институт за нуклеарне науке "Винча", Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Заштита ; [уредници Михајло Јовић, Гордана Пантелић]. - Београд : Институт за нуклеарне науке "Винча" : Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе, 2019 (Београд ; Институт за нуклеарне науке "Винча"). - 1 електронски оптички диск (CD-ROM) : текст ; 12 cm

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа. - Радови на срп. и енгл. језику. - Текст ћир. и лат. - Тираж 150. - Библиографија уз већину радова. - Abstracts. - Регистар.

ISBN 978-86-7306-154-2 (ИННВ)

а) Заштита од јонизујућег зрачења -- Зборници б) Животна средина -- Загађење радиоактивним материјама -- Зборници в) Радиоактивно зрачење -- Штетно дејство -- Зборници г) Нејонизујуће зрачење -- Штетно дејство -- Зборници д) Радиобиологија -- Зборници ђ) Дозиметри -- Зборници

COBISS.SR-ID 279687436

SADRŽAJ RADIONUKLIDA U MAHOVINAMA NA PODRUČJU PRIGRADSKIH OPŠTINA GRADA BEOGRADA

**Branislava M. MITROVIĆ, Jelena AJTIĆ, Svetlana GRDOVIĆ
i Borjana VRANJEŠ**

*Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija,
radijacija@vet.bg.ac.rs, jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, ceca@vet.bg.ac.rs,
vranjesb@vet.bg.ac.rs*

SADRŽAJ

Mahovine spadaju u grupu bioindikatorskih organizama, jer apsorbuju radionuklide iz padavina i suve depozicije. Kao dobri pokazatelji radioaktivnog zagađenja, u ovom radu mahovine su iskorišćene da se odredi sadržaj prirodnih radionuklida ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , i ^{232}Th , kao i proizvedenog ^{137}Cs , na području četiri prigradske opštine grada Beograda: Palilula, Zemun, Rakovica i Lazarevac. Uzorci mahovina sa drveća sakupljeni su tokom proleća i jeseni 2010. godine. Posle sušenja i usitnjavanja, uzorci su mereni na niskofonskom High Purity Germanium detektoru relativne efikasnosti 30,3%. Izmerene specifične aktivnosti radionuklida su: 155-270 Bq/kg za ^{40}K , MDA-38 Bq/kg za ^{238}U , 5,8-41 Bq/kg za ^{226}Ra , 5,4-25 Bq/kg za ^{232}Th i 18-166 Bq/kg za ^{137}Cs . Između ispitivanih lokacija postoje razlike u sadržaju radionuklida u mahovinama. Na primer, najveći sadržaj prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th detektovan je u mahovinama na lokalitetu Zemun, a najmanji na području Palilule, dok je najveći sadržaj antropogenog radionuklida ^{137}Cs detektovan na području opštine Lazarevac (160 Bq/kg), a najniži na teritoriji opštine Palilula (21 Bq/kg).

1. Uvod

Mahovine i lišajevi predstavljaju dobre pokazatelje zagađenja životne sredine radionuklidima [1, 2], teškim metalima [1, 3] i pesticidima [1]. Mahovine apsorbuju radionuklide iz padavina i suve depozicije, ne poseduju pravi koren i vaskularni sistem, dugoživeće su i široko rasprostranjene kako u prirodnim staništima, tako i u gradskim i industrijskim zonama. Za potrebe određivanja prisustva polutanata u životnoj sredini najčešće se pristupa tzv. „pasivnom biomonitoringu“ gde se na određenim lokalitetima prikupljaju i analiziraju autohtone vrste mahovina [1].

Prirodni radionuklidi (na primer, ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th) prisutni u životnoj sredini mogu migracijom kroz lanac ishrane dospeti i do čoveka kao krajnjeg potrošača i time povećati radijaciono opterećenje stanovništva na određenim lokacijama. Na dodatno povećanje sadržaja prirodnih radionuklida u životnoj sredini mogu uticati ljudske aktivnosti kao što su eksploatacija ruda, naftna i gasna industrija, sagorevanje uglja, metalna i fosfatna industrija [4]. Prirodni radionuklidi koji se na ovaj način unesu u životnu sredinu započinju svoju migraciju kroz lanac ishrane. Kako ne poseduju koren, mahovine apsorbuju polutante iz padavina i suve depozicije. Stoga je sadržaj polutanata u mahovinama dobar pokazatelj prisustva zagađivača u vazduhu i životnoj sredini [5].

Nuklearne probe i akcidenti u nuklearnim elektranama prouzrokovali su kontaminaciju životne sredine fisionim radionuklidima. Jedan od najznačajnijih nuklearnih akcidenata koji se desio krajem prošlog veka, akcident u Černobilju, u Ukrajini 1986. godine, doveo je do oslobađanja $2 \cdot 10^{18}$ Bq radioaktivnog materijala i kontaminacije širokih razmera. Procenjeno je da je u toku 1986. godine na teritoriji bivše Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije deponovano oko 2,4% od ukupno ispuštenih radionuklida (bez inertnih gasova) emitovanih iz oštećenih reaktora, odnosno 5% ^{131}I i oko 10% ^{137}Cs . Zbog dugog perioda poluraspada od oko 30 godina, černobiljski ^{137}Cs je i dalje prisutan u životnoj sredini Republike Srbije, a najviše u brdsko-planinskim regionima [6, 7].

Cilj ovog istraživanja je bio da se u životnoj sredini na području prigradskih opština grada Beograda: opštine Palilula, Zemun, Rakovica i Lazarevac, gamaspektrometrijskom metodom odredi sadržaj prirodnih radionuklida (^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th) i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs u mahovinama.

2. Materijal i metode rada

Gamaspektrometrijskom metodom na HPGe detektorima firme EG&G „ORTEC” određen je sadržaj prirodnih radionuklida (^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th) i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs , u mahovinama sakupljenim u proleće (april-maj) i jesen (septembar-oktobar) 2010. godine na području opština Palilula (Ovča i Besni Fok), Zemun (Batajnica), Rakovica (Straževica) i Lazarevac (Šopići) (slika 1).



Slika 1. Lokaliteti prigradskih opština Beograda, opštine Palilula, Zemun, Rakovica i Lazarevac, gde su sakupljeni uzorci mahovina.

Uzorci različitih vrsta autohtonih mahovina sa drveća su po dopremanju u laboratoriju čišćeni od nečistoća, sušeni na $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, mleveni i pakovani u plastične posude zapremine 200 ml. Svi uzorci su hermetički zatvarani i čuvani najmanje 40 dana radi uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između ^{226}Ra i potomaka radioaktivnog raspada.

Za kalibraciju efikasnosti detektora korišćeni su referentni materijali: IAEA-330 (spanać) i Moha Barna. Vreme merenja uzoraka i fona je bilo 60000 s i 240000 s. Sadržaj ^{238}U je određivan na osnovu gama linija za ^{234}Th (63,2 keV i 92,8 keV) i $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (1001 keV); ^{226}Ra na osnovu gama linija za ^{226}Ra (186,1 keV), ^{214}Bi (609,3 keV, 1120,3 keV i 1764,5 keV) i ^{214}Pb (295,2 keV i 351,9 keV); ^{232}Th na osnovu gama linija za ^{228}Ac (338 keV, 911,2 keV i 969 keV); ^{40}K na osnovu 1460,8 keV linije; i ^{137}Cs pomoću 661,66 keV gama linije.

3. Rezultati i diskusija

Rezultati gamaspektrometrijskog određivanja sadržaja radionuklida ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{137}Cs u uzrocima mahovina sa drveća prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Specifična aktivnost ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{137}Cs u uzorcima mahovina sa drveća u prigradskim opštinama grada Beograda (Bq/kg suve mase).

Lokalitet/ godišnje doba	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
Palilula					
proleće	180 ± 15	<MDA*	5,8 ± 1,2	5,4 ± 1,4	18 ± 1
jesen	270 ± 22	11,1 ± 1,7	8,1 ± 1,5	6,1 ± 1,9	24 ± 1
Zemun					
proleće	226 ± 20	38 ± 6	41 ± 4	25 ± 2	114 ± 5
jesen	253 ± 21	34 ± 5	38 ± 4	21 ± 2	109 ± 5
Rakovica					
proleće	178 ± 15	10,6 ± 2,4	6,9 ± 1,2	6,9 ± 1,0	61 ± 3
jesen	189 ± 15	<MDA*	8,3 ± 1,3	7,8 ± 1,1	57 ± 3
Lazarevac					
proleće	155 ± 14	19,4 ± 3,9	15,3 ± 2,6	8,6 ± 2,6	154 ± 7
jesen	183 ± 15	14,3 ± 3,3	17,6 ± 3,1	10,9 ± 1,1	166 ± 7

*MDA – minimalna detektibilna aktivnost.

Dobijeni rezultati su potvrdili da je u mahovinama prirodni ^{40}K dominantni radionuklid [8, 9]. Prosečna specifična aktivnost ^{40}K u mahovinama na posmatrane četiri lokacije je 204 Bq/kg. Najmanja srednja vrednost za obe sezone zabeležena je na lokalitetu Lazarevac (169 Bq/kg), a najveća na području Zemuna (240 Bq/kg). Najveći sadržaj prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th detektovan je u mahovinama na lokalitetu Zemun, a najmanji na području Palilule. Srednji nivo aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th na području prigradskih opština grada Beograda je 21 Bq/kg, 18 Bq/kg i 11 Bq/kg, što je u opsegu merenja drugih autora [2, 10]. Na lokalitetima Zemun i Lazarevac sadržaj ^{232}Th je bio niži u odnosu na ^{226}Ra , što je utvrđeno i u istraživanjima koje su sproveli Krmar i saradnici [2]. Sezonske varijacije u sadržaju ispitivanih radionuklida tokom 2010. godine nisu detektovane.

Radioaktivni izotop ^{137}Cs detektovan je na svim ispitivanim lokacijama, a varijacije u njegovom sadržaju su najverovatnije posledica različitih količina padavina tokom 1986.

godine. Prosečan sadržaj ^{137}Cs za sva mesta uzorkovanja je 88 Bq/kg. Na lokalitetu Palilula detektovan je najmanji sadržaj (21 Bq/kg), a najveći na području Lazarevca (160 Bq/kg). Istraživanja koja su sprovedi Čučulović i saradnici [10] na području Nacionalnog parka Đerdap pokazala su da se specifična aktivnost ^{137}Cs kretala u opsegu 9,2-512 Bq/kg, prosečno 111 Bq/kg, što je nešto više u odnosu na naše rezultate kao posledica razlika u kontaminaciji životne sredine.

4. Zaključak

Rezultati merenja sadržaja radionuklida ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{137}Cs u mahovinama sa područja prigradskih opština grada Beograda potvrdili su da su mahovine dobri bioindikatori prisustva radionuklida u životnoj sredini. Sadržaj ispitivanih radionuklida je bio u okviru vrednosti za Republiku Srbiju. Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu stalnog praćenja sadržaja radionuklida u mahovinama u cilju procene njihovog sadržaja u životnoj sredini, kao i radijacionog opterećenja kome je stanovništvo izloženo.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekti TR31003, TR34013 i III43007).

6. Literatura

- [1] L. Barandovski, M. V. Frontasyeva, T. Stafilov, R. Šajn, T. M. Ostrovnaya. Multi-element atmospheric deposition in Macedonia studied by the moss biomonitoring technique. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 2015, 16077–16097.
- [2] M. Krmar, K. Wattanavatee, D. Radnović, J. Slivka, T. Bhongsuwan, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov. Airborne radionuclides in mosses collected at different latitudes. *J. Environ. Radioact.* 117, 2013, 45–48.
- [3] S. Chakraborty, G. T. Paratkar. Biomonitoring of trace element air pollution using mosses. *Aerosol Air Qual. Res.* 6, 2006, 247–258.
- [4] Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation, IAEA, Vienna, 2003.
- [5] Air Pollution and Vegetation. ICP Vegetation Annual Report 2015/2016, UK, NERC/Centre for Ecology & Hydrology, 2016.
- [6] B. Mitrović, J. Ajtić, M. Lazić, V. Andrić, N. Krstić, B. Vranješ, M. Vićentijević. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of Kopaonik mountain, Serbia. *Environ. Pollut.* 215, 2016, 273–279.
- [7] S. Dragović, O. Nedić, S. Stanković, G. Bacić. Radiocesium accumulation in mosses from highlands of Serbia and Montenegro: chemical and physiological aspects. *J. Environ. Radioact.* 77, 2004, 381–388.
- [8] A. Čučulović, M. Sabovljević, R. Čučulović, D. Veselinović. Natural radionuclide uptake by mosses in eastern Serbia in 2008-2013. *Arch. Ind. Hyg. Toxicol.* 67, 2016, 31–37.
- [9] 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.

- [10] A. Čučulović, R. Čučulović, S. Nestorović, D. Veselinović. Radioaktivnost u mahovinama i lišajevima sakupljenim 2015. godine u NP Đerdap. *Zbornik radova XXIX Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, 27-29. septembar, 2017, Srebrno jezero, 99–107.

CONTENT OF RADIONUCLIDES IN MOSSES IN THE SUBURBAN AREAS OF BELGRADE CITY

**Branislava M. MITROVIĆ, Jelena AJTIĆ, Svetlana GRDOVIĆ
and Borjana VRANJEŠ**

*University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade, Serbia,
radijacija@vet.bg.ac.rs, jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, ceca@vet.bg.ac.rs,
vranjesb@vet.bg.ac.rs*

ABSTRACT

Mosses are biondicators of environmental pollution because they absorb radionuclides from precipitation and dry deposition. In this paper, the ability of mosses to absorb and accumulate radionuclides is used to determine the content of naturally occurring ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra and ^{232}Th , and an artificial ^{137}Cs , in the suburban areas of Belgrade city: the municipalities of Palilula, Zemun, Rakovica and Lazarevac. Samples of moss were collected from trees during the spring and autumn 2010. After drying and milling, the samples were measured at a low-level HPGe detector, relative efficiency of 30.3%. The measured specific activities are: 155-270 Bq/kg for ^{40}K , MDA-38 Bq/kg for ^{238}U , 5.8-41 Bq/kg for ^{226}Ra , 5.4-25 Bq/kg for ^{232}Th and 18-166 Bq/kg for ^{137}Cs . The obtained results show differences in the content of radionuclides in mosses across the investigated sites. For example, the highest content of naturally occurring ^{238}U , ^{226}Ra and ^{232}Th is detected in mosses in Zemun, and the lowest in Palilula, while the highest content of the anthropogenic ^{137}Cs is detected in the municipality of Lazarevac (160 Bq/kg), and the lowest in the municipality of Palilula (21 Bq/kg).