



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

PETNAESTOGODIŠNJI TRENDОВИ SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U VAZDUHU U EVROPI

Jelena AJTIĆ¹, Erika BRATTICH², Miguel Angel HERNÁNDEZ CEBALLOS³
i Vladimir DJURDJEVIĆ⁴

- 1) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs
- 2) Alma Mater Studiorum University of Bologna, Department of Physics and Astronomy, Bolonja, Italija, erika.brattich@unibo.it
- 3) European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italija, miguel-angel.hernandez-ceballos@ec.europa.eu
- 4) Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, Srbija, vdj@ff.bg.ac.rs

SADRŽAJ

Među najbitnije faktore koji utiču na specifičnu aktivnost berilijuma-7 u prizemnom sloju atmosfere spadaju temperatura i količina padavina. U ovom radu stoga razmatramo njihove vremenske trendove između 2000. i 2014. godine, na šest lokacija u Evropi: Madrid i Bilbao (Španija) na jugu; Beč (Austrija) i Luksemburg (Luksemburg) u centralnoj oblasti; kao i Riso (Danska) i Ivalo (Finska) na severu kontinenta. Podaci za specifičnu aktivnost berilijuma-7 preuzeti su iz Radioactivity Environmental Monitoring data bank (REMdb), a podaci za lokalnu temperaturu i količinu padavina iz E-OBS gridovane klimatologije (verzija 15) i potom bilinearnom interpolacijom ekstrahovani na šest lokacija uzorkovanja berilijuma-7. Za dobijanje trendova koristili smo sezonski Kendalov test, u kome se za svaki mesec tokom godine prvo primeni Man-Kendalov trend test, a potom se rezultati kombinuju. Statistički značajni ($p < 0,05$) pozitivni trendovi specifične aktivnosti berilijuma-7 dobijeni su za četiri lokacije: Madrid ($8,71 \cdot 10^{-5}$ Bq·m⁻³/god), Bilbao ($3,13 \cdot 10^{-5}$ Bq·m⁻³/god), Luksemburg ($4,00 \cdot 10^{-5}$ Bq·m⁻³/god), i Ivalo ($1,91 \cdot 10^{-5}$ Bq·m⁻³/god), a statistički značajan pozitivan trend temperature detektovan je samo za Madrid. Naša analiza ukazuje na povećanje koncentracije berilijuma-7 u Evropi tokom 2000–2014, sa izraženijim trendom na jugu nego na severu. Međutim, kako dobijeni trendovi za temperaturu i količinu padavina uglavnom nisu statistički značajni, nije moguće razmotriti njihovu međusobnu povezanost. U budućim analizama ovog problema stoga treba uzeti u obzir duže vremenske nizove ovih promenljivih.

1. Uvod

Berilijum-7 (⁷Be) je jedan od radionuklida (period poluraspada 53,28 dana) čija se specifična aktivnost u prizemnom sloju vazduha prati u sklopu programa monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini u mnogim zemljama. Njegova detekcija relativno je lak proces, jer se odmah posle formiranja vezuje za aerosole [1] i, kao gama emiter, može se identifikovati standardnom gama spektrometrijom u uzorcima aerosola. Dalje, kao prirodni radionuklid koji se stvara u reakcijama kosmičkog zračenja i lakih elemenata u stratosferi (oko 70%) i višim slojevima troposfere (oko 30%) [2], a potom

spušta do površine zemlje, ^7Be može poslužiti kao obeleživač vazdušnih masa [3]. Drugim rečima, njegov transport kroz atmosferu zajedno sa vazdušnim masama čini ga dobrim pokazateljem procesa koji se odvijaju u atmosferi.

Među najbitnije faktore koji utiču na specifičnu aktivnost ^7Be u prizemnom sloju atmosfere spadaju temperatura i količina padavina [4,5]. Porast temperature može da dovede do bržeg spuštanja vazdušnih masa bogatih ^7Be , čime dolazi do povećanja njegove koncentracije na površini. Međutim, padavine efektivno uklanjaju ovaj radionuklid iz atmosfere, i tako sprečavaju njegovo nakupljanje.

Naša pretpostavka je da su trenovi temperature i padavina sa jedne strane, i trend specifične aktivnosti ^7Be sa druge strane, povezani. Da bismo proverili ovu hipotezu, izračunali smo vremenske trendove temperature, količine padavina i specifične aktivnosti ^7Be na šest lokacija u Evropi između 2000. i 2014. godine.

2. Materijal i metode

Izmerene vrednosti specifične aktivnosti ^7Be preuzete su iz baze podataka Monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini (na engleskom „Radioactivity Environmental Monitoring data bank”) koju održava Institut za transuranijske elemente Objedinjenog istraživačkog centra u Ispri, Italija. Bazu čine višegodišnja merenja specifične aktivnosti ^7Be u prizemnom sloju vazduha koja se sprovode na 34 lokacije širom Evrope [6].

U ovom radu obradili smo podatke sa šest mernih stanica na kojima se između 2000. i 2014. godine uzorkovanje sprovodilo uglavnom jednom nedeljno. Geografske koordinate ovih lokacija, kao i broj uzoraka u posmatranom vremenskom intervalu, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Lokacije na kojima su prikupljeni uzorci aerosola.

Merno mesto	Geografska širina i dužina (°N; °E)	Nadmorska visina (m n.v.)	Broj uzoraka
Madrid	(40,45; -3,69)	715	798
Bilbao	(43,17; -2,94)	380	817
Beč	(48,22; 16,35)	193	816
Luksemburg	(49,63; 06,13)	280	715
Risoe	(55,69; 12,10)	9	802
Ivalo	(68,64; 27,57)	130	753

Meteorološki podaci preuzeti su iz E-OBS gridovane klimatologije, verzija 15, koja sadrži podatke od 1950. godine [7,8]. Srednja dnevna temperatura i količina padavina za svaku od lokacija u periodu 2000–2014, dobijene su bilinearnom interpolacijom sa E-OBS mreže pravilno raspoređenih tačaka čija horizontalna rezolucija iznosi 0,25 °. Dnevne vrednosti ovih meteoroloških parametara potom su usrednjene na nedeljne vrednosti kako bi se dobili nizovi sa istim vremenskim intervalom kao i izmerene specifične aktivnosti ^7Be .

Za svaku od lokacija izračunali smo trendove u vremenskim serijama specifične aktivnosti ^7Be , temperature i količine padavina. Trendove smo dobili iz sezonskog Kendalovog testa [9] u kome se za svaki mesec tokom godine prvo primeni Man-Kendalov trend test, a potom se rezultati kombinuju. Na taj način smo iz nizova prvo uklonili sezonalnost koja može da utiče na vremenski trend. Ovaj test kao rezultat daje

trend koji može biti: pozitivan što ukazuje na ukupan rast posmatrane varijable; negativan što ukazuje na opadanje njene vrednosti tokom vremena; i nula što ukazuje na nepostojanje trenda date varijable.

3. Rezultati i diskusija

Statistički značajni ($p < 0,05$) pozitivni trendovi specifične aktivnosti ^7Be dobijeni su za četiri lokacije: $8,71 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}/\text{god}$ za Madrid, $3,13 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}/\text{god}$ za Bilbao, $4,00 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}/\text{god}$ za Luksemburg, i $1,91 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}/\text{god}$ za Ivalo. Sa druge strane, nismo dobili statistički značajne trendove za temperaturu i količinu padavina na ispitivanim lokacijama. Jedini izuzetak je pozitivan trend temperature detektovan za Madrid.

Naša analiza ukazuje na porast specifične aktivnosti ^7Be u površinskom sloju vazduha u Evropi tokom 2000–2014. godine i u saglasnosti je sa literaturnim podacima [10]. Statistički značajni trendovi većeg intenziteta dobijeni su za stanice na jugu kontinenta. Međutim, kako u ovom radu nismo dobili statistički značajne trendove za vremenske serije temperature i količine padavina, ne mogu se izvesti zaključci o eventualnoj povezanosti dugoročne promene ovih meteoroloških parametara sa količinom ^7Be u vazduhu. Postoji mogućnost da bi analiza dužih vremenskih serija ponudila odgovor na našu početnu pretpostavku.

Stoga smo pogledali vremenske trendove temperature i količine padavina između 1960. i 2016. godine koje je objavila Evropska agencija za zaštitu životne sredine [11]. Prema tom izveštaju, statistički značajan porast godišnje temperature od $\sim 0,30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{dekadi}$ detektovan je na jugu i $\sim 0,20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{dekadi}$ na severu kontinenta, a trendovi u količini padavina iznose $-0,30 \text{ mm}/\text{dekadi}$ na jugu, odnosno $+0,20 \text{ mm}/\text{dekadi}$ na severu. Kombinovani efekat povišene temperature i smanjene količine padavina na jugu može da objasni pozitivan trend većeg intenziteta koji vidimo na jugu Evrope. Nasuprot tome, povećanje temperature na severu koje bi moglo da dovede do povećanje koncentracije ^7Be u vazduhu, umanjeno je donekle povećanjem količine padavina, odnosno povećanjem ispiranja aerosola iz atmosfere. Ova kombinacija bi mogla da objasni razlog za slabije trendove koje smo detektovali na severu nego na jugu kontinenta.

Takođe, moguće je da zajedničko dejstvo glavnih faktora koji utiču na koncentraciju ^7Be , konkretno temperature i količine padavina, dovodi do njegovog trenda koji je tokom 15 ispitivanih godina izraženiji nego trendovi u pojedinačnim faktorima. Treba imati u vidu i da je za potpuno objašnjenje trenda specifične aktivnosti ^7Be neophodno razmotriti i ostale faktore, na primer, njegovu brzinu stvaranja u atmosferi ili insolaciju.

4. Zaključak

U ovom radu, pretpostavili smo da su vremenski trendovi temperature i količine padavina sa jedne strane, i specifične aktivnosti ^7Be sa druge strane, povezani, te smo izračunali trendove ovih promenljivih na šest lokacija u Evropi, između 2000. i 2014. godine. Na četiri lokacije dobili smo statistički značajne pozitivne trendove specifične aktivnosti ^7Be koji ukazuju na porast koncentracije ovog radionuklida u prizemnom sloju vazduha. Trendovi većeg intenziteta dobijeni su na jugu nego na severu kontinenta. Sa druge strane, na ispitivanim lokacijama nismo dobili statistički značajne trendove za temperaturu i količinu padavina, osim za Madrid gde smo detektovali pozitivan trend

temperature. Smatramo da bi buduća analiza koja uključuje nizove podataka duže od 15 godina mogla da ponudi odgovor na našu početnu hipotezu.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (43007) koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru programa Integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja za period 2011-2019. godine.

6. Literatura

- [1] D. M. Koch, D. J. Jacob, W. C. Graustein. Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by ^7Be and ^{210}Pb in a chemical tracer model. *J. Geophys. Res.* 101, 1996, 18651–18666.
- [2] D. Lal, B. Peters. Cosmic ray produced radioactivity on the earth. *Handb. Phys.* 46, 1967, 551–612.
- [3] E. F. Danielsen. Stratospheric-tropospheric exchange based on radioactivity, ozone and potential vorticity. *J. Atmos. Sci.* 25, 1968, 502–518.
- [4] A. Ioannidou, M. Manolopoulou, C. Papastefanou. Temporal changes of ^7Be and ^{210}Pb concentrations in surface air at temperate latitudes (40 °N). *Appl. Radiat. Isot.* 63, 2005, 277–284.
- [5] J. Ajtić, E. Brattich, D. Sarvan, V. Djurdjevic, M. Á. Hernández Ceballos. Factors affecting the ^7Be surface concentration and its extremely high occurrences over the Scandinavian Peninsula during autumn and winter. *Chemosphere* 199, 2018, 278–285.
- [6] M. A. Hernández-Ceballos, G. Cinelli, M. Marín Ferrer, T. Tollefsen, L. De Felice, E. Nweke, P. V. Tognoli, S. Vanzo, M. De Cort. A climatology of ^7Be in surface air in European Union. *J. Environ. Radioact.* 141, 2015, 62–70.
- [7] M. R. Haylock, N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, M. New. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* 113, 2008, D20119.
- [8] E. J. M. van den Besselaar, M. R. Haylock, G. van der Schrier, A. M. G. Klein Tank. A European daily high-resolution observational gridded data set of sea level pressure. *J. Geophys. Res.* 116, 2011, D11110.
- [9] R. M. Hirsch, J. R. Slack, R. A. Smith. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.* 18, 1982, 107–121.
- [10] S. Bianchi, W. Plastino, E. Brattich, V. Djurdjevic, A. Longo, M. A. Hernández-Ceballos, D. Sarvan, J. Ajtić. Analysis of trends, periodicities, and correlations in the beryllium-7 time series in Northern Europe. *Appl. Radiat. Isot.* 148, 2019, 160–167.
- [11] European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators> (accessed 29 May 2019).