

# ЗБОРНИК РАДОВА



## XXXI Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе



**06-08. октобар 2021.  
Београд, Србија**

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



# **ЗБОРНИК РАДОВА**

**XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Београд  
06-08. октобар 2021.**

**Београд  
2021.**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



**PROCEEDINGS**

**XXXI SYMPOSIUM RPSSM  
Belgrade  
6<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> October 2021**

**Belgrade  
2021**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

06-08.10.2021.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Ивана Вуканац  
Др Милица Рајачић

e-ISBN 78-86-7306-161-0

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милица Рајачић, Милош Ђалетић, Наташа Сарап

Електронско издање:

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

Година издања:

Октобар 2021.



Овај Зборник као и сви радови у њему подлежу лиценци:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ова лиценца дозвољава само преузимање и дистрибуцију дела, ако/док се правилно назначавача име аутора, без икаквих промена дела и без права комерцијалног коришћења дела.

KORELACIONE KARAKTERISTIKE SPECIFIČNE AKTIVNOSTI  
BERILIJUMA-7 U VAZDUHU I TEMPERATURE NA DUGOGODIŠNIM  
NIZOVIMA NEDELJNIH VREDNOSTI

Dorđe STRATIMIROVIĆ<sup>1</sup>, Darko SARVAN<sup>2</sup>,  
Erika BRATTICH<sup>3</sup>, Miguel Ángel HERNÁNDEZ CEBALLOS<sup>4</sup>,  
Vladimir DJURDJEVIĆ<sup>5</sup> i Jelena AJTIĆ<sup>2</sup>

- 1) Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Beograd, Srbija, [dj.stratimirovic@stomf.bg.ac.rs](mailto:dj.stratimirovic@stomf.bg.ac.rs)
- 2) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, [darko.sarvan@vet.bg.ac.rs](mailto:darko.sarvan@vet.bg.ac.rs), [jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs](mailto:jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs)
- 3) Alma Mater Studiorum University of Bologna, Department of Physics and Astronomy, Bolonja, Italija, [erika.brattich@unibo.it](mailto:erika.brattich@unibo.it)
- 4) University of Cordoba, Department of Physics, Kordoba, Španija, [f92hecem@uco.es](mailto:f92hecem@uco.es)
- 5) Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, Srbija, [vdj@ff.bg.ac.rs](mailto:vdj@ff.bg.ac.rs)

SADRŽAJ

U ovom radu razmatramo vremenske serije srednjih nedeljnih specifičnih aktivnosti berilijuma-7 u vazduhu i temperature na lokaciji Beč (48,22 °N; 16,35 °E; 193 m n.v.) u Austriji, koje su zabeležene od februara 1987. do decembra 2014. godine. Merenja specifične aktivnosti berilijuma-7 u prizmenom sloju vazduha preuzeta su iz Radioactivity Environmental Monitoring databank (REMdb) koju održava Objedinjeni istraživački centar u Ispri, Italija, a podaci za lokalnu temperaturu iz E-OBS gridovane klimatologije (verzija 15) koji su potom bilinearnom interpolacijom ekstrahovani na lokaciju uzorkovanja berilijuma-7. Za analizu serija koristili smo korelacionu analizu i vejtlet transformacije. Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije od 0,68 ukazuje na jaku vezu između nedeljnih specifičnih aktivnosti berilijuma-7 i temperature, dok vejtlet spektri snage pokazuju izraziti godišnji period za obe varijable tokom ispitivanog vremenskog intervala. Godišnji period dominantno je vidljiv i na kros-korelacionom spektru. Takođe je uočen blagi fazni pomeraj koji ukazuje da promena specifične aktivnosti berilijuma-7 merene u prizemnom sloju vazduha prethodi promeni temperature.

1. Uvod

Berilijum-7 (Be-7) smatra se obeleživačem kretanja vazdušnih masa. Ovaj radionuklid (period poluraspada 53,28 dana) stvara se u reakcijama kosmičkog zračenja i lakih elemenata u stratosferi i višim slojevima troposfere [1]. Posle formiranja, vezuje za aerosole [2] i sa vazdušnim masama spušta do površine zemlje. Osim radioaktivnog raspada, iz atmosfere se uklanja suvom i vlažnom depozicijom [3]. Stoga je specifična aktivnost Be-7 u prizmenom sloju vazduha dobar pokazatelj procesa koji se odvijaju u atmosferi [4].

Berilijum-7 je gama emiter, te se može identifikovati standardnom gama spektrometrijom u uzorcima aerosola. U mnogim zemljama njegova specifična aktivnost u prizemnom sloju vazduha meri se u sklopu programa praćenja radioaktivnosti u životnoj sredini [5]. U ovom radu korišćen je dugogodišnji niz nedeljnih merenja u Beču, u Austriji, kako bi se analizirale zajedničke osobenosti specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju vazduha i temperature.

## 2. Materijal i metode

Izmerene vrednosti specifične aktivnosti Be-7 preuzete su iz baze podataka Monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini (na engleskom „Radioactivity Environmental Monitoring databank”, REMdb) koju održava Institut za transuranijske elemente Objedinjenog istraživačkog centra u Ispri, Italija. Baza predstavlja skup višegodišnjih merenja specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju vazduha koja se sprovede na 34 lokacije širom Evrope [5].

Jedna od navedenih lokacija je Beč (48,22 °N; 16,35 °E; 193 m n.v.) u Austriji. U REMdb, za ovu lokaciju dostupna su merenja specifične aktivnosti Be-7 od februara 1987. do decembra 2014. godine. Uzorkovanje je vršeno u nedeljnom režimu, tako da ukupan broj podataka iznosi 1444 tokom ovih 28 ispitivanih godina.

Temperaturski podaci preuzeti su iz E-OBS gridovane klimatologije, verzija 15, koja sadrži podatke od 1950. godine [6,7]. Srednja dnevna temperatura izračunata je bilinearnom interpolacijom sa E-OBS mreže pravilno raspoređenih tačaka horizontalne rezolucije 0,25 °. Dnevne vrednosti temperature zatim su usrednjene na nedeljne vrednosti kako bi se za lokaciju Beč dobio niz sa istim vremenskim intervalom kao u nizu izmerene specifične aktivnosti Be-7.

Za ovako dobijene vremenske serije, izračunat je Pirsonov koeficijent korelacije, a potom je urađena vejljet analiza za određivanje vremensko-spektralnih karakteristika vremenskih serija i njihove koherencije (međusobne korelacione karakteristike aktivnosti Be-7 i srednje temperature) pomoću WaveletComp paketa otvorenog koda za vejljet analizu u R programskom okruženju [8].

## 3. Rezultati i diskusija

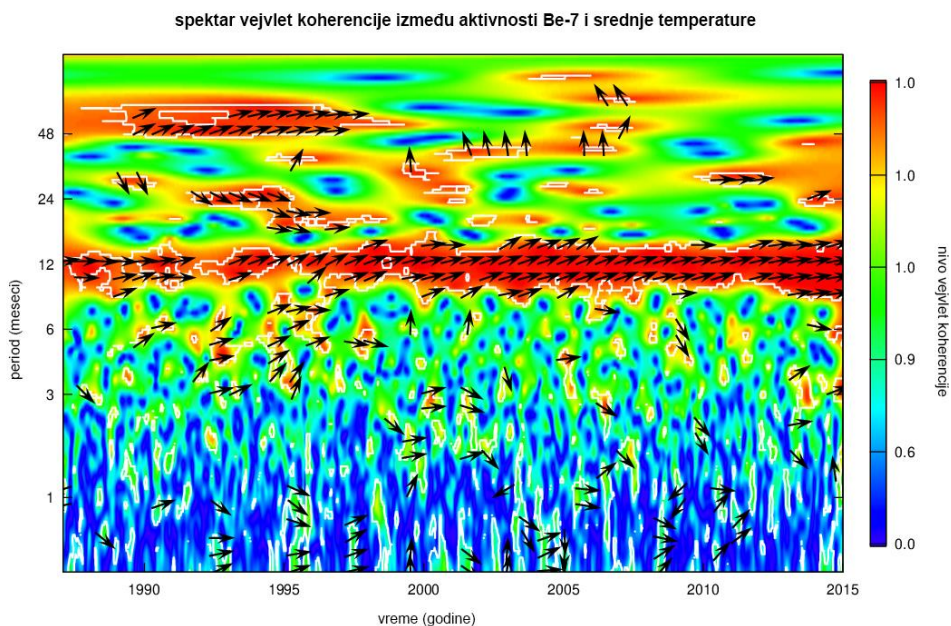
Dobijeni Pirsonov koeficijent korelacije od 0,68 ukazuje da promene u nedeljnim vrednostima specifičnih aktivnosti Be-7 i temperature na lokaciji Beč, imaju zajedničke karakteristike, što je u saglasnosti sa rezultatima ranijih studija [9,10].

Ove zajedničke karakteristike mogu se videti i na spektru vejljet koherencije prikazanom na slici 1. Konkretno, uočava se izražen nivo korelacije sa karakterističnim periodom od 12 meseci. Na ovom godišnjem karakterističnom periodu, specifična aktivnost Be-7 i srednja nedeljna temperatura imaju pozitivnu korelisanost, ali su fazno pomerene. Fazna razlika (data strelicama na slici 1) na godišnjem periodu ukazuje da promena specifične aktivnosti Be-7 prethodi promeni srednje temperature, pri čemu je fazna razlika između jednog i dva meseca (slika 2).

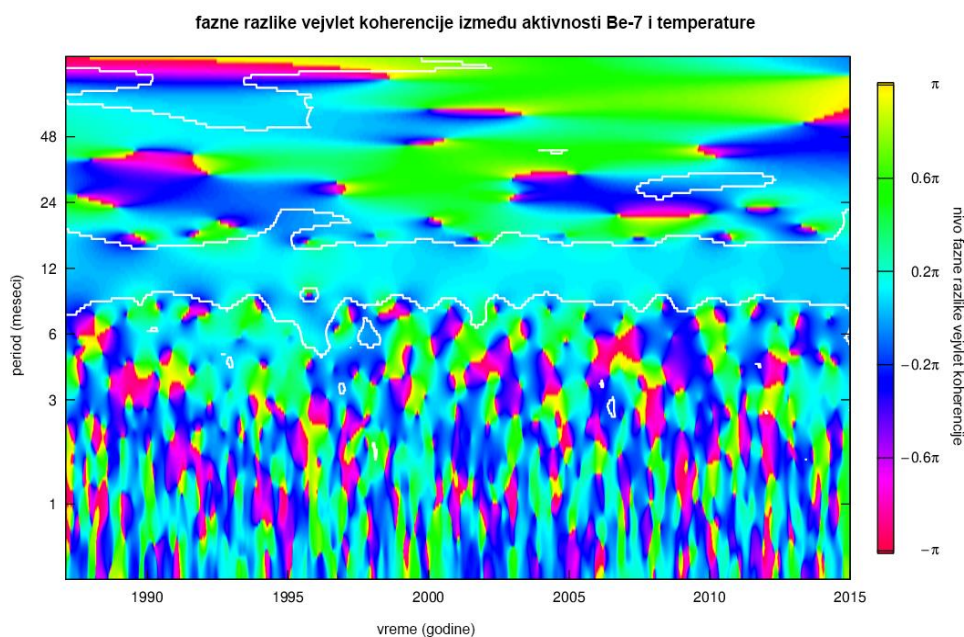
Interesantno je uočiti da fazna razlika između specifične aktivnosti Be-7 i temperature nije konstantna tokom 1987–2014 (slika 1). Naime, do oko 1992. godine, a zatim posle 2013, fazna razlika manja je nego u ostatku ispitivanog perioda.

Dalje, pored dominantnog godišnjeg, mogu se uočiti i drugi periodi na kojima specifična aktivnost Be-7 i temperatura imaju visok nivo korelacije. Na primer, između 1989. i 1996. godine, izražena su još dva karakteristična vremena: od 18–24 meseca, i od 48 meseci. Iako su ovi periodi u ponašanju specifične aktivnosti Be-7 ranije detektovani [11,12], njihovo prisustvo, odnosno odsustvo, u pojedinim godinama nije zabeleženo.





**Slika 1. Spektar vejvlet koherencije specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju vazduha i srednje nedeljne temperature u Beču, Austrija, tokom 1987–2014. Strelicama su označene fazne razlike.**



**Slika 2. Fazna razlika vejvlet koherencije između specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju vazduha i srednje nedeljne temperature u Beču, Austrija, tokom 1987–2014.**

#### 4. Zaključak

Rezultati analize korelacija između specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju atmosfere i srednje nedeljne temperature potvrđuju da je temperatura među faktorima sa kojima je specifična aktivnost Be-7 povezana. Obe varijable imaju dominantni karakteristični period promene od 12 meseci i na toj vremenskoj skali, promena specifične aktivnosti Be-7 prethodi promeni temperature za jedan do dva meseca.

Dalja analiza nivoa vejevlet koherencije mogla bi dati dodatne informacije o povezanosti specifične aktivnosti Be-7 i temperature na drugim, manje dominantnim karakterističnim periodima i u različitim vremenskim intervalima. Buduće analize takođe bi mogle biti urađene za druge lokacije na kojima su dostupni višegodišnji nizovi specifične aktivnosti Be-7 u prizemnom sloju vazduha.

### 5. Zahvalnica

Rad je podržan sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovori broj 451-03-9/2021-14/200143, 451-03-9/2021-14/200129 i 451-03-9/2021-14/200162).

### 6. Literatura

- [1] D. Lal, B. Peters. Cosmic ray produced radioactivity on the earth. *Handb. Phys.* 46, 1967, 551–612.
- [2] D. M. Koch, D. J. Jacob, W. C. Graustein. Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in a chemical tracer model. *J. Geophys. Res.* 101, 1996, 18651–18666.
- [3] A. Ioannidou, C. Papastefanou. Precipitation scavenging of  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in air. *J. Environ. Radioact.* 85, 2006, 121–136.
- [4] E. F. Danielsen. Stratospheric-tropospheric exchange based on radioactivity, ozone and potential vorticity. *J. Atmos. Sci.* 25, 1968, 502–518.
- [5] 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  $^7\text{Be}$  in surface air in European Union. *J. Environ. Radioact.* 141, 2015, 62–70.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. Roesch, H. Schmidbauer. WaveletComp: Computational Wavelet Analysis. R package version 1.1. 2018. <https://CRAN.R-project.org/package=WaveletComp>
- [9] J. Ajtić, E. Brattich, D. Sarvan, V. Djurdjevic, M. Á. Hernández Ceballos. Factors affecting the  $^7\text{Be}$  surface concentration and its extremely high occurrences over the Scandinavian Peninsula during autumn and winter. *Chemosphere* 199, 2018, 278–285.
- [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] E. Gerasopoulos, C. Zerefos, C. Papastefanou, P. Zanis, K. O'Brien. Low-frequency variability of beryllium-7 surface concentrations over the eastern Mediterranean. *Atmos. Environ.* 37, 2003, 1745–1756.
- [12] D. Sarvan, Đ. Stratimirović, S. Blesić, V. Djurdjevic, V. Miljković, J. Ajtić. Dynamics of beryllium-7 specific activity in relation to meteorological variables, tropopause height, teleconnection indices and sunspot number. *Physica A* 469, 2017, 813–823.