

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



**ЗБОРНИК
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Сребрно језеро
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG
Srebrno jezero
27- 29. September 2017**

**Belgrade
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
27-29.09.2017.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

FAKTORSKA ANALIZA SPECIFIČNIH AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 I OLOVA-210 U PRIZEMNOM SLOJU VAZDUHA, I METEOROLOŠKIH PARAMETARA

**Jelena AJTIĆ¹, Darko SARVAN¹, Dragana TODOROVIĆ², Milica RAJAČIĆ²,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ², Vladimir DJURDJEVIĆ³, Benjamin ZORKO⁴,
Branko VODENIK⁴, Denis GLAVIĆ CINDRO⁴ i Jasmina KOŽAR LOGAR⁴**

- 1) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija,
jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, darko.sarvan@vet.bg.ac.rs
- 2) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu
od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, beba@vinca.rs,
milica100@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs
- 3) Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Institut za meteorologiju, Beograd, Srbija,
vdj@ff.bg.ac.rs
- 4) Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija, benjamin.zorko@ijs.si,
branko.vodenik@ijs.si, denis.cindro@ijs.si, jasmina.logar@ijs.si

SADRŽAJ

Međusobna povezanost specifičnih aktivnosti berilijuma-7 i olova-210 u prizemnom sloju atmosfere sa meteorološkim parametrima razmotrena je u faktorskoj analizi. Merenja su sprovedena u Beogradu, Republika Srbija, i u Ljubljani i Krškem, u Republici Sloveniji, tokom 1991–2015 godine. Na sve tri lokacije, faktorska opterećenja dva faktora pokazuju da je: 1) specifična aktivnost berilijuma-7 obuhvaćena faktorom 1 sa temperaturom, oblačnošću i relativnom vlažnošću; dok je 2) specifična aktivnost olova-210 obuhvaćena faktorom 2 sa količinom padavina i atmosferskim pritiskom. Iako je komunalitet već dva faktora veći od 0,5 za većinu posmatranih varijabli, tek uvođenjem trećeg faktora komunalitet za specifičnu aktivnost olova-210 i atmosferskog pritiska na sve tri merne lokacije raste na preko 0,5. Rezultati faktorske analize pokazuju da se specifične aktivnosti berilijuma-7 i olova-210 u prizemnom sloju atmosfere nalaze pod različitim dominantnim uticajima. Koncentracija berilijuma-7 je pod uticajem faktora regionalnog karaktera, koji je takođe dominantan za srednju temperaturu. Ova veza specifične aktivnosti berilijuma-7 i temperature preko dominantnog zajedničkog faktora važi i kada se broj faktora u analizi poveća na tri i četiri. Sa druge strane, na koncentraciju olova-210, kao i na količinu padavina i atmosferski pritisak, više uticaja ima lokalni faktor. Ova povezanost olova-210 sa druga dva meteorološka parametra, međutim, prestaje da važi sa povećanjem broja faktora u analizi na tri, kada se izdvaja specifičan faktor koji objašnjava preko 80% varijanse specifične aktivnosti olova-210.

1. UVOD

Berilijum-7 (period poluraspada 53,28 dana) i olovo-210 (period poluraspada 22,3 godine) su radionuklidi prirodnog porekla. Njihove specifične aktivnosti u prizemnom sloju vazduha često se mere u okviru monitoringa radioaktivnosti životne sredine. Iako se Be-7 stvara u višim slojevima atmosfere [1], a Pb-210 blizu same površine [2], njihov transport kroz atmosferu ima zajedničke odlike prvestveno zbog toga što se brzo po formiranju ovi izotopi vezuju za aerosole [3-5]. Oba radionuklida su indikatori istorije vazдушnih masa: sadržaj Be-7 može da ukaže na vertikalni transport u atmosferi [6], dok Pb-210 pokazuje

da li je izvor vazdušne mase iznad tla ili vodene površine [2]. Glavni mehanizam njihovog uklanjanja iz atmosfere je vlažna depozicija [7,8].

Međusobna zavisnost ova dva radionuklida, kao i njihova veza sa meteorološkim parametrima, razmotrena je u više studija [8-12]. Međutim, u većini ovih studija posmatrane su korelacije samo za jednu određenu lokaciju, i u tom smislu zaključci o međusobnom odnosu analiziranih varijabli lokalnog su karaktera. U našem radu, veza između specifičnih aktivnosti Be-7 i Pb-210, kao i meteoroloških parametara, razmotrena je na tri merna mesta između kojih je maksimalna udaljenost oko 500 km, ali sa malom razlikom u geografskoj širini (45–46 °N). Na podatke je primenjena faktorska analiza kako bi se identifikovali procesi koji u ovom pojasu geografskih širina imaju dominantan efekat na sadržaj radionuklida u prizemnom sloju vazduha i na meteorološke parametre.

2. MATERIJAL I METODE

U ovom radu analizirane su specifične aktivnosti Be-7 i Pb-210 u prizemnom sloju atmosfere koje su tokom 1991–2015 merene na tri lokacije. Na svim mernim mestima, uzorci aerosola prikupljeni su pomoću uzorkivača vazduha, a specifične aktivnosti radionuklida određene su metodom standardne gama spektrometrije. Pored ovih parametara, na svim lokacijama analizirani su i meteorološki podaci.

2.1. MERNE LOKACIJE

Tri merna mesta uključena su u ovu analizu: Beograd (44,88333 °N; 20,583333 °E; nadmorska visina 95 m) u Republici Srbiji, Ljubljana (46,042356 °N; 14,487494 °E; 292 m) i Krško (45,950414 °N; 15,512261 °E; 204 m) u Republici Sloveniji (sl. 1). Ljubljana se nalazi oko 500 km zapadno od Beograda, a Krško je između Ljubljane i Beograda, na oko 400 km zapadno od Beograda.

Ova tri merna mesta imaju slične umereno kontinentalne klime. Beograd je prosečno topliji (sa srednjom godišnjom temperaturom od 11,7 °C) od Krška (10,9 °C) i Ljubljane (9,8 °C). Najtopliji mesec je jul, najhladniji januar. Slično, na sve tri lokacije, mesec sa najvećom količinom padavina je jun, a najsuvlji mesec je februar. Sa druge strane, godišnja prosečna količina padavina u Beogradu iznosi 670 mm, a u Ljubljani 1400 mm i Krškom 1057 mm.



Slika 1. Merne lokacije

2.2. ODREĐIVANJE SPECIFIČNE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA

Na mernom mestu Beograd, koje se nalazi u okviru Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, uzorci aerosola prikupljeni su na filter papirima pomoću komercijalnih uzorkivača vazduha (F&J SPECIALTY PRODUCTS, prosečan protok vazduha 20 m³/h, i srednja dnevna zapremina 600 m³). Ukupna zapremina vazduha kroz uzorkivač tokom perioda uzorkovanja, koji je iznosio mesec dana, merena je meračem protoka. Prikupljeni filter papiri su spaljivani na 380 °C i od njih je formiran kompozitni mesečni uzorak (prosečne zapremine 15·10³ m³). Kompozitni uzorci su za potrebe merenja smešteni u pastične bočice.

Specifična aktivnost radionuklida u mesečnim uzorcima određena je standardnom metodom gama spektrometrije na tri Canberra High-Purity Germanium (HPGe) detektora sa relativnom efikasnošću od 18%, 20% i 50%. Svi dektori su u olovnom kućištu koje omogućava merenja niskih aktivnosti. Više informacija o proceduri merenja može se naći u [11,13,14]. Specifična aktivnost Be-7 određena je na gama energiji od 477 keV, a Pb-210 na 46 keV.

Merenja na mernim mestima Ljubljana i Krško sprovedena su u okviru programa monitoringa životne sredine Instituta „Jožef Stefan“. Kao i na mernom mestu Beograd, uzorci aerosol prikupljeni su pomoću uzorkivača vazduha, a pojedinačni uzorci grupisani su tako da daju kompozitni mesečni uzorak. Specifične aktivnosti radionuklida takođe su određivane standardnom metodom gama spektrometrije, na nekoliko HPGe detektora efikasnosti do 70%. Više detalja o proceduri merenja može se naći u [15].

Podaci o srednjim mesečnim specifičnim aktivnostima Be-7 i Pb-210 na sve tri lokacije dostupni su za period 1991–2015, te je za svaku lokaciju i za svaki ispitani radionuklid obuhvaćen skup od oko 300 tačaka.

2.3. METEOROLOŠKI PARAMETRI

U ovom radu razmotrili smo povezanost srednjih mesečnih specifičnih aktivnosti Be-7 i Pb-210 i srednjih mesečnih vrednosti: temperature (*T*), oblačnosti (*CC*), relativne vlažnosti vazduha (*HU*), količine padavina (*RR*) i atmosferskog pritiska (*PP*). Meteorološki podaci za Beograd preuzeti su od European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) [16] i Republičkog hidrometeorološkog zavoda (http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php), dok su podaci za merna mesta u Sloveniji dobijeni od Agencije Republike Slovenije za okolje (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>). Na mernom mestu Krško, podaci za atmosferski pritisak nisu bili dostupni.

2.4. FAKTORSKA ANALIZA

Faktorska analiza je multivarijanta metoda pomoću koje se mogu identifikovati zajedničke karakteristike, tj. uticaji koji leže u osnovi ponašanja više varijabli (<http://statlab.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2015/06/Faktorska-analiza.pdf>). U ovom radu, faktorska analiza izvršena je pomoću programa dostupnog na Internetu [17].

Ukratko, metodom faktorske analize mogu se izdvojiti grupe varijabli među kojima postoji velika zavisnost, a u čijoj osnovi leži zajednički uticaj koji se u ovoj metodi naziva „faktor“. Po pretpostavci faktorske analize, sami faktori ne mogu se izmeriti direktno, a na njihovo postojanje ukazuje odnos između promenljivih na koje ovi faktori utiču. Faktori mogu biti specifični i zajednički. Specifični faktori imaju uticaj samo

na jednu od posmatranih varijabli, za razliku od zajedničkih faktora koji utiču na više promenljivih.

Uticaj pojedinih faktora na posmatrane varijable iskazuje se preko „faktorskog opterećenja“ čiji kvadrat daje udeo, koji objašnjava posmatrani faktor, u varijansi date varijable. Komunalitet predstavlja zbir kvadrata faktorskih opterećenja svih faktora, i predstavlja onaj deo varijanse varijable koji je objašnjen tim faktorima. Jedan od zadataka u faktorskoj analizi je interpretacija zajedničkih faktora, što podrazumeva i izbor adekvatnih naziva.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U prvom koraku, faktorska analiza urađena je za dva faktora, i njihova faktorska opterećenja data su u tabeli 1. Na svim lokacijama, faktor 1 dominantan je za specifičnu aktivnost Be-7, temperaturu, oblačnost i relativnu vlažnost, dok je faktor 2 dominantan za specifičnu aktivnost Pb-210, količinu padavina i atmosferski pritisak. Komunalitet ova dva faktora za sve varijable veći je od 0,5 (50%) osim za specifičnu aktivnost Pb-210 na svim lokacijama i atmosferski pritisak u Beogradu (sl. 2).

Kako komunalitet predstavlja onaj deo varijanse posmatrane varijable koji je objašnjen datim brojem faktora, iz gornjeg sledi da već dva zajednička uticaja objašnjavaju više od 50% varijanse za većinu posmatranih varijabli. Ovi uticaji mogli bi da se klasifikuju kao „regionalni“ i „lokalni“. Faktor 1 koji je dominantan zajednički faktor za meteorološke parametre regionalnog karaktera: temperaturu, oblačnost i vlažnost vazduha, verovatno da u svojoj osnovi i ima mehanizam sinoptičkih razmera. Faktor 2 koji ima najveće faktorsko opterećenje za količinu padavina, može se okarakterisati kao lokalni mehanizam. Sa druge strane, povezanost ovog faktora sa atmosferskim pritiskom nije sasvim jasna.

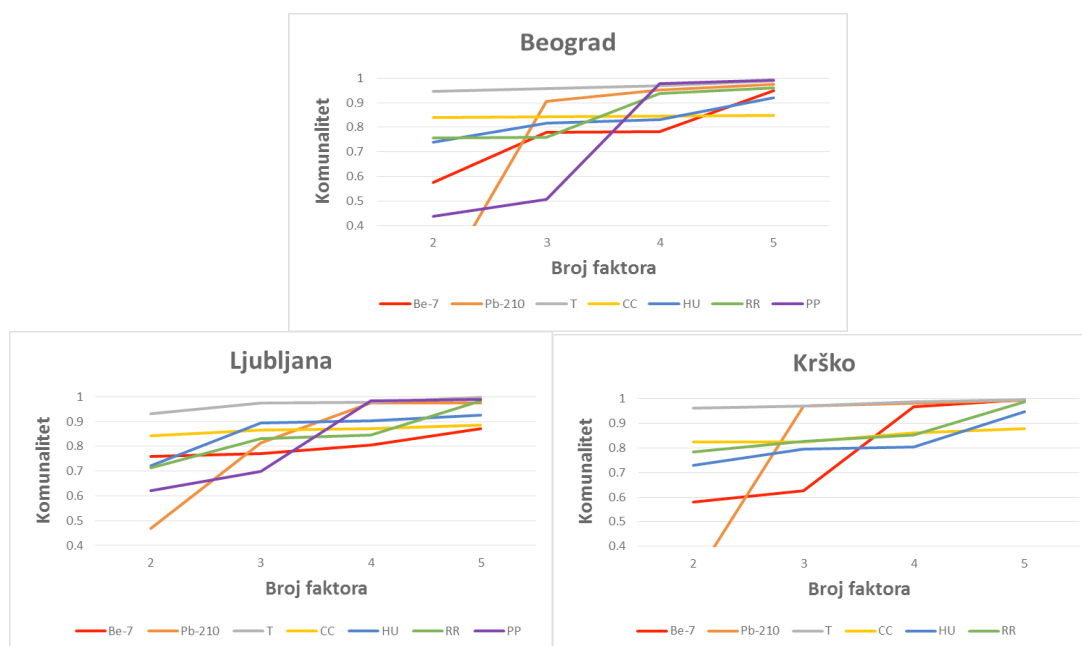
Tabela 1. Matrica faktorske strukture za dva faktora

Merno mesto	Faktor 1		Faktor 2	
	varijabla	faktorsko opterećenje	varijabla	faktorsko opterećenje
Beograd	<i>Be-7</i>	0,76	<i>Pb-210</i>	-0,28
	<i>T</i>	0,96	<i>RR</i>	0,87
	<i>CC</i>	-0,84	<i>PP</i>	-0,57
	<i>HU</i>	-0,81		
Ljubljana	<i>Be-7</i>	0,87	<i>Pb-210</i>	-0,66
	<i>T</i>	0,90	<i>RR</i>	0,83
	<i>CC</i>	-0,87	<i>PP</i>	-0,79
	<i>HU</i>	-0,84		
Krško	<i>Be-7</i>	0,75	<i>Pb-210</i>	-0,51
	<i>T</i>	0,71	<i>RR</i>	0,81
	<i>CC</i>	-0,91	<i>PP</i>	/
	<i>HU</i>	-0,85		

Faktorska opterećenja regionalnog i lokalnog faktora ukazuju da su specifične aktivnosti Be-7 i Pb-210 pod različitim dominantnim mehanizmima. Na koncentraciju Be-7 u prizmenom sloju vazduha najviše utiču atmosferski procesi velikih razmera, dok lokalni procesi, kao što je količina padavina, imaju najjači uticaj na koncentraciju Pb-210.

Da bismo dalje ispitati zajedničke uticaje na specifične aktivnosti Be-7 i Pb-210, i meteorološke parametre, broj faktora u faktorskoj analizi povećali smo na tri, četiri i pet. Rezultati za sva tri merna mesta dati su na slici 2.

Kao što je već rečeno, na sva tri merna mesta, komunalitet već dva faktora veći je od 0,5 (50%) za većinu posmatranih varijabli (sl. 2). Izuzetak su atmosferski pritisak u Beogradu i specifična aktivnost Pb-210 na svim lokacijama. Uvođenjem trećeg faktora komunalitet za sve ispitivane varijable na svim lokacijama raste na preko 50%.



Slika 2. Rezultati faktorske analize za Beograd, Ljubljana i Krško. Na x-osi dat je broj faktora (od dva do pet), a na y-osi komunalitet datog broja faktora za svaku od razmotrenih varijabli

Konkretno, u Beogradu i Krško, treći faktor se izdvaja kao specifičan faktor za koncentraciju Pb-210, jer objašnjava 91%, odnosno 95% njegove varijanse na ovim mernim mestima. U Ljubljani, pak, treći faktor objašnjava 80% varijanse specifične aktivnosti Pb-210, ali je ovaj faktor dominantan i za atmosferski pritisak u Ljubljani. Daljim povećanjem broja faktora na četiri i pet, specifična aktivnost Pb-210 ostaje kao izdvojena varijabla koju opisuje jedan specifičan faktor.

Sa druge strane, za specifičnu aktivnost Be-7 i u analizi tri faktora, dominantan je regionalni faktor čije je najveće opterećenje za srednju mesečnu temperaturu. Slično, kada se poveća broj faktora na četiri, na lokaciji Beograd i Ljubljana, dominantan faktor za ovu promenljivu takođe je najuticajniji i za srednju mesečnu temperaturu, oblačnost i relativnu vlažnost, odnosno regionalni uticaj i dalje je najjači. Na ovim mernim mestima, specifična aktivnost Be-7 ostaje vezana zajedničkim faktorom sa relativnom vlažnošću čak i kada se broj faktora poveća na pet. U Krško, međutim, već u analizi četiri faktora jedan od njih izdvaja se kao specifičan faktor za koncentraciju Be-7.

Sprimanovi koeficijenti korelacije za oba radionuklida na različitim mernim mestima (tabela 2) takođe pokazuju da postoji jača povezanost specifičnih aktivnosti Be-7 na ispitivanim mernim mestima nego specifičnih aktivnosti Pb-210, što je u skladu sa

gornjim rezultatima da je specifična aktivnost Be-7 pod dominantnim uticajem regionalnog faktora, a Pb-210 lokalnog faktora. Analizom indeksa stagnacije, meteorološkog parametra koji obuhvata horizontalnu i vertikalnu razmenu vazduha kao i procese ispiranja atmosfere, i njegove povezanosti sa specifičnim aktivnostima ova dva radionuklida u studiji [18] dobijen je sličan rezultat: za razliku od Pb-210 koji je jako povezan sa ovim indeksom, veza između Be-7 i indeksa stagnacije nije pronađena.

Tabela 2. Spirmanovi koeficijenti korelacije za specifične aktivnosti Be-7 i Pb-210 između parova mernih lokacija

radionuklid	Beograd - Ljubljana	Beograd - Krško	Ljubljana - Krško
Be-7	0,59	0,32	0,70
Pb-210	0,28	0,16	0,62

Visoka zavisnost koncentracije Pb-210 od lokalnih uslova mogla bi da se pripiše uticaju koji oni imaju na sam izvor ovog izotopa—emanaciju radona-222 iz tla. Na brzinu emanacije utiču mnogobrojni faktori, kao što su pokrivenost tla snegom ili ledom, ali i vlaga u zemljištu [19]. Na taj način, količina padavina može dvostruko da utiče na količinu Pb-210 u vazduhu: kroz njegovo spiranje iz atmosfere, ali i preko smanjene emanacije radona-222 usled povećanja vlage u tlu [20].

U analizi dva faktora (tab. 1) faktorska opterećenja ukazuju na zakonitost koja važi i za veći broj faktora: 1) direktna proporcionalnost između specifične aktivnosti Be-7 i srednje temperature, kao i obrnuta proporcionalnost sa oblačnošću i relativnom vlažnošću; i 2) direktna proporcionalnost specifične aktivnosti Pb-210 sa atmosferskim pritiskom, odnosno obrnuta proporcionalnost sa količinom padavina.

Ovi rezultati u skladu su sa korelisanošću koje su pokazale ranije studije. Na primer, specifična aktivnost Be-7 pozitivno je korelisana sa temperaturom [8,12,21–23], a negativno sa oblačnošću [24] i relativnom vlažnošću [23], dok je specifična aktivnost Pb-210 obrnuto korelisana sa količinom padavina [12,18,21,22], i direktno sa atmosferskim pritiskom [12].

Perzistentna povezanost između specifične aktivnosti Be-7 i temperature koju daje faktorska analiza u skladu je sa rezultatima studije [20] u kojoj je temperatura identifikovana kao jedini parametar sa značajnim uticajem na koncentraciju Be-7 u vazduhu. Ovaj rezultat dalje pokazuje i na mogućnost da koncentracija Be-7 u prizemnom sloju atmosfere bude jedan od indikatora klimatskih promena. Naime, kako su obe varijable pod uticajem istog faktora, sledi da se sa promenama temperature mogu očekivati i promene u ponašanju Be-7. U studiji [25], tokom 1970–1997 pokazan je opadajući trend specifične aktivnosti Be-7 na većini od 23 ispitivana merna mesta geografskih širina od 90°S do 45°N. Kao mogući uzrok ovog trenda navedena je značajna promena u vertikalnom transportu Be-7 na koji utiče temperatura [25], mada autori nisu isključili mogućnost uticaja koje mogu imati promene u količini padavina.

4. ZAKLJUČAK

Faktorska analiza specifičnih aktivnosti Be-7 i Pb-210 u prizemnom sloju atmosfere, kao i pet meteoroloških parametara, sprovedena je na rezultatima merenjima koja su tokom 1991–2015 izvedena u Beogradu, Ljubljani i Krškom.

Rezultati ukazuju na to da se specifična aktivnost Be-7 nalazi pod dominantnim uticajem regionalnog faktora koji je zajednički faktor i za temperaturu, oblačnost i relativnu vlažnost vazduha. Na koncentraciju Pb-210, sa druge strane, faktorska analiza pokazuje da lokalni parametri imaju veći uticaj. U ovu grupu varijabli spada i količina padavina. Kada se, međutim, u analizi poveća broj faktora, za Pb-210 se već na tri faktora izdvaja faktor koji sam objašnjava preko 80% varijanse ovog radionuklida, što ukazuje na specifičnu povezanost različitih parametara koji utiču na njegov izvor i ponor u atmosferi. Berilijum-7, sa druge strane, ostaje povezan uglavnom sa temperaturom preko dominantnog faktora čak i kada se dozvoli veći broj zajedničkih uticaja, tj. poveća broj faktora u analizi na tri i četiri.

Takođe je uočena zakonitost koja važi bez obzira na broj faktora razmatranih u analizi: 1) direktna proporcionalnost između specifične aktivnosti Be-7 i srednje temperature, kao i obrnuta proporcionalnost sa oblačnošću i relativnom vlažnošću; i 2) direktna proporcionalnost specifične aktivnosti Pb-210 sa atmosferskim pritiskom, odnosno obrnuta proporcionalnost sa količinom padavina.

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 2011-2017. godine. Autori se posebno zahvaljuju Borutu Brezniku iz Nuklearne elektrane „Krško“ na podršci i dozvoli za objavljivanje podataka.

6. LITERATURA

- [1] D. Lal, B. Peters. Cosmic ray produced radioactivity on the earth. *Handb. Phys.* 46, 1967, 551–612.
- [2] P. Carvalho. Origins and concentrations of ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po in the surface air at Lisbon, Portugal, at the Atlantic edge of the European continental landmass. *Atmos. Environ.* 29, 1995, 1809–1819.
- [3] 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.
- [4] T. Tokieda, K. Yamanaka, K. Harada, S. Tsunogai. Seasonal variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po and ^7Be . *Tellus B* 48, 1996, 690–702.
- [5] U. Heikkilä, J. Beer, V. Alfimov. Beryllium-10 and beryllium-7 in precipitation in Dübendorf (440 m) and at Jungfraujoch (3580 m) Switzerland, (1998–2005). *J. Geophys. Res.* 113, 2008, doi:10.1029/2007JD009160.
- [6] E. F. Danielsen. Stratospheric-tropospheric exchange based on radioactivity, ozone and potential vorticity. *J. Atmos. Sci.* 25, 1968, 502–518.
- [7] Y. J. Balkanski, D. J. Jacob, G. M. Gardner, W. C. Graustein, K. K. Turekian. Transport and residence times of tropospheric aerosols inferred from a global three-dimensional simulation of ^{210}Pb . *J. Geophys. Res.*, 1993, 20573–20586.

- [8] M. K. Pham, M. Betti, H. Nies, P. P. Povinec. Temporal changes of ^7Be , ^{137}Cs and ^{210}Pb activity concentrations in surface air at Monaco and their correlation with meteorological parameters. *J. Environ. Radioact.* 102, 2011, 1045–1054.
- [9] C. Papastefanou, A. Ioannidou. Depositional fluxes and other physical characteristics of atmospheric beryllium-7 in the temperate zones (40°N) with a dry (precipitation-free) climate. *Atmos. Environ.* 25A, 1991, 2335–2343.
- [10] D. Todorovic, D. Popovic, G. Djuric. Concentration measurements of ^7Be and ^{137}Cs in ground level air in the Belgrade City area. *Environ. Int.* 25, 1999, 59–66.
- [11] J. Ajtić, D. Todorović, J. Nikolić, V. Djurdjević. A multi-year study of radioactivity in surface air and its relation to climate variables in Belgrade, Serbia. *Nucl. Technol. Radiat.* 28, 2013, 381–388.
- [12] L. Tositti, E. Brattich, G. Cinelli, D. Baldacci. 12 years of ^7Be and ^{210}Pb in Mt. Cimone, and their correlation with meteorological parameters. *Atmos. Environ.* 87, 2014, 108–122.
- [13] D. Todorovic, D. Popovic, S. Rajsic, M. Tasic. Radionuclides and Particulate Matter in Belgrade Air. In: M. A. Cato, ed., *Environmental Research Trends*, New York, Nova Science Publishers, Inc., 2007.
- [14] D. Todorovic, D. Popovic, J. Nikolic, J. Ajtic. Radioactivity monitoring in ground level air in Belgrade urban area. *Radiat. Protect. Dosim.* 142, 2010, 308–313.
- [15] D. Glavič-Cindro, M. Korun, M. Nečemer, B. Vodenik, B. Zorko. Evaluation of comparison and proficiency test results of gamma ray spectrometry at Jožef Stefan Institute from 1986 to 2014. *Appl. Radiat. Isot.* 109, 2016, 54–60.
- [16] A. M. G. Klein Tank et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.* 22, 2002, 1441–1453.
- [17] P. Wessa. Factor Analysis (v1.0.3) in Free Statistics Software (v1.1.23-r7), Office for Research Development and Education. 2014.
http://www.wessa.net/rwasp_factor_analysis.wasp/
- [18] H. Hötzl, R. Winkler. Activity Concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{40}K and ^7Be and their Temporal Variations in Surface Air. *J. Environ. Radioact.* 5, 1987, 445–458.
- [19] K. K. Turekian, Y. Nozaki, L. K. Benninger. Geochemistry of atmospheric radon and radon products. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 5, 1977, 227–255.
- [20] 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.
- [21] M. Azahra, J. J. López-PeZalver, M. A. Camacho-GarcPa, C. González-Gómez, T. El Bardouni, H. Boukhal. Atmospheric concentrations of ^7Be and ^{210}Pb in Granada, Spain. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 261, 2004, 401–405.
- [22] C. DueZas, M. C. Fernández, S. CaZete, M. Pérez. ^7Be to ^{210}Pb concentration ratio in ground level air in Málaga (36.7°N , 4.5°W). *Atmos. Res.* 92, 2009, 49–57.
- [23] F. PiZero GarcPa, M. A. Ferro GarcPa, M. Azahra. ^7Be behaviour in the atmosphere of the city of Granada January 2005 to December 2009. *Atmos. Environ.* 47, 2012, 84–91.
- [24] J. Hedfors, A. Aldahan, G. Possnert. Clouds and beryllium-7. *Nucl. Instrum. Meth. B* 268, 2010, 1129–1134.
- [25] L. Jiwen, V. N. Starovoitova, D. P. Wells. Long-term variations in the surface air ^7Be concentration and climatic changes. *J. Environ. Radioact.* 116, 2013, 42–47.

**FACTOR ANALYSIS OF THE BERYLLIUM-7 AND LEAD-210
SPECIFIC ACTIVITIES IN SURFACE AIR, AND
METEOROLOGICAL PARAMETERS**

**Jelena AJTIĆ¹, Darko SARVAN¹, Dragana TODORVIĆ², Milica RAJAČIĆ²,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ², Vladimir DJURDJEVIĆ³, Benjamin ZORKO⁴,
Branko VODENIK⁴, Denis GLAVIČ CINDRO⁴ and Jasmina KOŽAR LOGAR⁴**

1) *University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade, Serbia,
jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, darko.sarvan@vet.bg.ac.rs*

2) *University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for
Environmental and Radiation Protection, Belgrade, Serbia, beba@vinca.rs,
milica100@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs*

3) *University of Belgrade, Faculty of Physics, Institute of Meteorology, Belgrade,
Serbia, vdj@ff.bg.ac.rs*

4) *Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, benjamin.zorko@ijs.si,
branko.vodenik@ijs.si, denis.cindro@ijs.si, jasmina.logar@ijs.si*

ABSTRACT

An association between the beryllium-7 and lead-210 specific activities in surface air and meteorological parameters is investigated using factor analysis. The measurements were conducted in Belgrade, Republic of Serbia, and Ljubljana and Krško, Republic of Slovenia, over 1991–2015. In all the locations, the factor loadings of two factors show that: 1) the beryllium-7 specific activity is encompassed by factor 1 together with temperature, cloud cover and relative humidity; while 2) the lead-210 specific activity, precipitation and atmospheric pressure are described by factor 2. Although the communalities of only two factors are already larger than 0.5 for most of the variables, an introduction of a third factor raises the communalities of all the variables above 0.5. The results imply that the beryllium-7 and lead-210 are under different dominant underlying mechanisms. The concentration of beryllium-7 seems to be primarily influenced by a mechanism of a regional character which is also a predominant factor for temperature. This association between the beryllium-7 specific activity and temperature prevails even when the number of factors in the analysis is raised to three and four. The lead-210 specific activity, on the other hand, together with precipitation and atmospheric pressure, is under an influence of a local mechanism, but that relationship between the variables ceases to hold when the number of factors is raised to three, and more than 80% of the variance in the Pb-210 specific activity is explained by one specific factor.