

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
6th - 8th 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.

ISPITIVANJE RADIOAKTIVNOSTI SUSPENDOVANIH ČESTICA ATMOSFERE UZORKOVANIH KASKADNIM IMPAKTOROM NISKOG PRITISKA

**Sofija FORKAPIĆ¹, Dragana ĐORĐEVIĆ², Jelena ĐURIČIĆ-MILANKOVIĆ³,
Igor ČELIKOVIĆ⁴, Aleksandar KANDIĆ⁴, Jan HANSMAN¹ i Kristina BIKIT¹**

- 1) *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja
Obradovića 4, 21000 Novi Sad, Srbija, sofija@df.uns.ac.rs,
jan.hansman@df.uns.ac.rs, kristina.bikit@df.uns.ac.rs*
- 2) *NU Institut za Hemiju, Tehnologiju i Metalurgiju – Centar izuzetnih vrednosti za
hemiju i inženjering životne sredine, Njegoševa 12 (Studentski trg 12-16), 11000
Beograd, dragadj@chem.bg.ac.rs*
- 3) *Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za medicinske i poslovno-tehnološke
studije, Hajduk Veljkova 10, Šabac, jdjuricmilankovic@vmpts.edu.rs*
- 4) *Institut za nuklearne nauke Vnča Univerziteta u Beogradu, Laboratorija za
nuklearnu i plazma fiziku, Mike Petrovića Alasa 12-14, Vinča, Beograd,
icelikovic@vin.bg.ac.rs, akandic@vin.bg.ac.rs*

SADRŽAJ

Glavni izvori aerozagađenja u Srbiji su energetska sektor u koji spadaju termoelektrane, toplane i pojedinačno grejanje domaćinstava, potom transportni sektor i industrijska aktivnost (rafinerije nafte, hemijska industrija, rudarstvo i sl.). Procenjeno je da je broj preranih smrti izazvanih aerozagađenjem u Srbiji, među najvećima u Evropi. Najvažniji parametri za praćenje su koncentracija čestica i njihova raspodela u veličini. Uzorkovanje suspendovanih čestica atmosfere (particulate matter - PM) frakcionisanih po veličini sprovedeno je u periodu od marta 2012. godine do decembra 2013. godine u suburbanom delu Beograda na pozadinskoj mernoj stanici Zeleno brdo, kao receptorskom mestu. Svaki šesti dan uziman je po jedan usrednjeni 48-časovni uzorak aerosolnih čestica razdvojenih na jedanaest intervala aerodinamičkih prečnika čestica (particle diameter - D_p) pomoću kaskadnog impaktora niskog pritiska prof. dr. Bernera - LPI 25/0,0085/2 u opsegu veličine čestica ($0,0085 \mu\text{m} < D_p < 16 \mu\text{m}$). Tehnika mikrotalasne digestije korišćena je za razaranje sakupljenog depozita aerosolnih čestica iz šest krupnijih frakcija ($0,27 \mu\text{m} < D_p < 16 \mu\text{m}$). Koncentracije 25 ispitivanih elemenata su određene primenom indukovano spregnute plazme sa masenom spektrometrijom. Najzastupljeniji elementi u ispitivanom aerosolu su bili Ca, Fe, Al, K i Mg. Najveći procentualni udeo As, Cd, K, Pb i Sb bio je prisutan u frakcijama čestica finog moda, dok su u grubom modu dominirali Al, Ba, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn i Ti. Naknadno je vršena i gama spektrometrijska analiza uzoraka. Jedan deo ispitivanja je obuhvatao merenje svake od 11 frakcija posebno, a drugi deo analizu svih 11 frakcija odjednom. Takođe, merene su i aktivnosti više različitih uzoraka iste frakcije. U spektru su nađeni u tragovima prirodni radionuklidi, dok radionuklidi veštačkog porekla nisu detektovani. U radu su diskutovane istražene korelacije dobijenih rezultata koncentracije aktivnosti radionuklida sa dominantnim elementarnim sastavom i dijametrom čestica, kao i moguće poreklo aerozagađenja.

1. Uvod

Suspendovane čestice su jedan od polutanata vazduha koji u poslednje vreme izaziva veliku zabrinutost stanovništva, s obzirom na to da se dnevne prosečne granične vrednosti u ambijentalnom vazduhu utvrđene Direktivom EU 2008/50/EC [1] često

prevazilaze, naročito u urbanim sredinama. Pojmovi PM_{10} i $PM_{2,5}$ koji se koriste kako u evropskoj [1], tako i u domaćoj zakonskoj regulativi [2], predstavljaju grube i fine čestice atmosferskog aerosola prema EPA klasifikaciji (PM_{10} – čestice čiji aerodinamički dijametar je manji ili jednak $10 \mu m$ i $PM_{2,5}$ – čestice čiji je aerodinamički prečnik manji ili jednak $2.5 \mu m$). Ove čestice sadrže elemente u tragovima, kao što su mineralni elementi i teški elementi koji potiču iz prirodnih izvora (površinska prašina, erozija zemljišta, vulkanske erupcije, šumski požari) ili antropogeni izvori (sagorevanje fosilnih goriva i drveta, industrija, saobraćaj, sagorevanje otpada). Iako se različite naučne i stručne institucije bave problemima aerozagađenja, ne postoji multidisciplinarni pristup prilikom uzorkovanja, analiza i tumačenja rezultata. Nekoliko studija povezuje čestice PM u ambijentalnom i zatvorenom vazduhu sa kancerogenim i nekancerogenim teškim metalima koji putem udisanja dospevaju u respiratorni sistem kao dominantan način izlaganja [3, 4]. Pored toga, ispitivanje radioaktivnosti suspendovanih čestica u atmosferi doprinela bi tačnijoj i sveobuhvatnoj proceni rizika po zdravlje stanovništva, kao i utvrđivanju da li su čestice prirodnog ili antropogenog porekla. I radioaktivne čestice i teški metali su svrstani u istu I grupu karcinogena za ljudska pluća prema WHO i IARC [5].

2. Ispitivano područje, materijal i metode

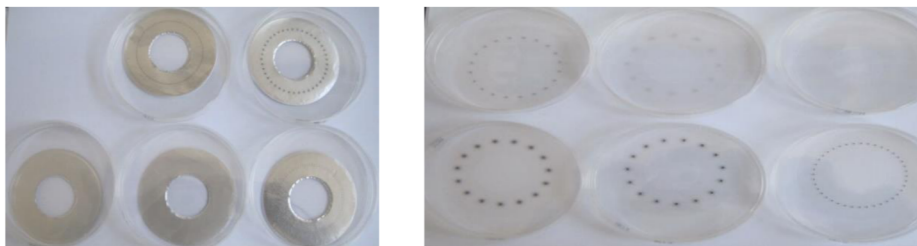
Uzorci čestica atmosferskog aerosola su sakupljeni svaki šesti dan u cilju uključivanja svakog dana u nedelji [6] na mernoj stanici Beograd - Zeleno brdo ($44^{\circ}47'11''$ severno i $20^{\circ}31'18''$ istočno). Merna stanica Beograd - Zeleno brdo je deo državne mreže mernih stanica za automatski monitoring kvaliteta vazduha Republike Srbije od 2008. godine. Ova merna stanica je klasifikovana kao pozadinska (background) stanica koja se nalazi u suburbanom zoni, na oko 5 kilometara u pravcu istok-jugoistok od centra Beograda. Nalazi se na 240 m nadmorske visine i predstavlja najvišu tačku u Beogradu gde dominiraju pojedinačne porodične kuće i niska stambena gradnja, bez industrijskih aktivnosti u neposrednoj blizini. Uzorkivač je bio postavljen na visinu od 2,5 m iznad tla i zemljište prekriveno travom je izabrano za ispitivanje karakteristika sakupljenih čestica (Slika 1). Uzorkivač je bio udaljen od drugih objekata u radijusu od 50m. ISAP usisna vakuum pumpa radila je pri konstantnom protoku od 25 l/min.



Slika 1. Kaskadni impaktor niskog pritiska Prof. Dr. Berner – LPI 25/0,0085/2 (levo) sa ISAP vakuum pumpa (sredina) i presa za montiranje (desno): a) osnovna ploča poluge (M-G), okvir (M-B), zavrtanj kompresije (M-S), matica (M-H), omotač impaktora (J-G), brava (I-V), b) impaktor sa omotačem spreman za upotrebu, c) niz faza impaktora, baza impaktora sa ispusnom ivicom i koordinantnom prskalicom (I-B), ulazni stalak impaktora (I-E), stalci impaktora (I-T1 do I-T11) (<https://www.isap.com>).

2.1 Impaktor niskog pritiska Prof. Dr. Berner

Posebna karakteristika kaskadnog impaktora niskog pritiska Prof. Dr. Bernera – LPI 25/0,0085/2 je širok merni opseg veličina čestica od 0,008 do 16 μm , pri primeni niskog pritiska, tako da celokupna raspodela čestica po veličinama može biti izmerena jednim uređajem. Uzorci čestica atmosferskog aerosola su sakupljeni na aluminijumskim i Tedlar (polivinil-fluorid) filterima (Slika 2). Aluminijumski filteri (mase od oko 0,09 g) su korišćeni za sakupljanje frakcija sitnijih čestica aerodinamičkog prečnika (u μm): PM_{0,0085–0,018} (f1), PM_{0,018–0,035} (f2), PM_{0,035–0,07} (f3), PM_{0,07–0,138} (f4), PM_{0,138–0,27} (f5); dok su Tedlar filteri (mase od oko 0,2 g) korišćeni za sakupljanje frakcija PM_{0,27–0,53} (f6), PM_{0,53–1,06} (f7), PM_{1,06–2,09} (f8), PM_{2,09–4,11} (f9), PM_{4,11–8,11} (f10) i PM_{8,11–16} (f11). Trajanje uzorkovanja za svaki set uzoraka je bilo 48h. U cilju identifikacije mogućih izvora kontaminacije, slepe probe su sakupljane koristeći istu proceduru, kao i za uzorke aerosola, ali bez korišćenja pumpe [7]. Uzorci sakupljeni na aluminijumskim i Tedlar filterima, kao i slepe probe stavljeni su u Petri šolje i čuvani na temperaturi od -20°C do analize.



Slika 2. Aluminijumski filteri sa depositima – levo i Tedlar filteri sa depositima – desno.

Tehnika mikrotalasne digestije korišćena je za razaranje sakupljenog depozita aerosolnih čestica iz šest ispitivanih opsega veličina, od f6 do f11. Hemijske analize čestica atmosferskog aerosola su urađene u laboratoriji Katedre za analitičku hemiju, Hemijskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu metodom masene spektrometrije sa induktivno spregnutom plazmom na uređaju Thermo Scientific iCAP Qc ICP-MS (Bremen, Germany). Gama spektrometrijska analiza suspendovanih čestica na filterima je izvršena na HPGe detektorima u pasivnoj zaštiti u toku 2020. godine. Jedan deo ispitivanja je obuhvatao merenje svake od 11 frakcija posebno, a drugi deo analizu svih 11 frakcija odjednom. U Laboratoriji za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja na Departmanu za fiziku, PMF-a u Novom Sadu izvršena su preliminarna merenja na HPGe detektoru velike zapremine, relativne efikasnosti od 100 % proširenog raspona energije od 6 keV do 3 MeV proizvođača Canberra USA, model GX10021 u originalnoj zaštiti od olova debljine 15 cm. Dva seta filtera u originalnim Petrijevim šoljama su merena direktno na kapi detektora, kao i 3 filtera iz jednog seta (frakcije f6, f7 i f8) posebno. Vreme merenja je iznosilo u opsegu od 80 – 160 ks. U Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, gamaspektrometrijska merenja su vršena na 2 HPGe detektora: ORTEC GEM 30–70, relativne efikasnosti od 37% i 1.7 keV rezolucije za ⁶⁰Co na energiji od 1332.5 keV i Canberra GX5019, relativne efikasnosti od 55% i 1.9 keV rezolucije za ⁶⁰Co na energiji od 1332.5 keV. Mereni su kompletni setovi filtera koji se odnose na određeni datum i vreme uzorkovanja koji su navedeni u Tabeli 2. (setovi pod rednim brojem: 14, 15, 21, 23, 24, 39, 40, 43, 44 i 72), kao i pojedinačne frakcije svih ovih

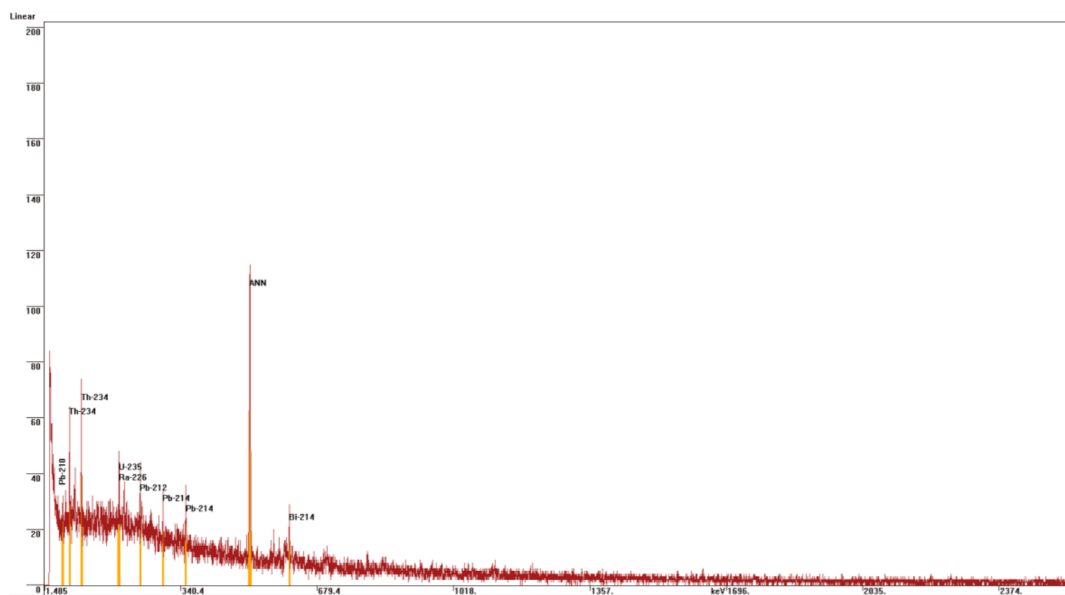
setova zajedno (rezultati navedeni u Tabeli 3). Vreme merenja je iznosilo u opsegu od 100 – 335 ks.

3. Rezultati ispitivanja

Na osnovu podataka o zapremini provučenog vazduha u m³ tokom usisavanja i konstantnog protoka pumpe, na osnovu intenziteta linija u gama spektru (Slika 3) određene su specifične aktivnosti detektovanih radionuklida (Tabela 1 i 2). Koncentracija aktivnosti radijuma određena je na osnovu intenziteta linije 186,1 keV. U tabelama su dati podaci o datumu i vremenu trajanja uzorkovanja u satima. U Tabeli 1 su dati rezultati gama-spektrometrijskih merenja u Laboratoriji za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja na Departmanu za fiziku, PMF-a u Novom Sadu i to pojedinih frakcija f6, f7 i f8 (oznake seta: 55-6, 55-7 i 55-8; kao i celih setova filtera u kompletu (66 i 73)). U Tabeli 2 su dati rezultati gama-spektrometrijskih merenja pojedinih setova filtera (svih frakcija), dok su u Tabeli 3 prikazane ukupne aktivnosti pojedinih frakcija svih izmerenih setova u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“.

Tabela 1. Rezultati gama-spektrometrijskih ispitivanja filtera na Departmanu za fiziku, PMF-a u Novom Sadu.

SET	Datum uzorkovanja	t _U [h]	V [m ³]	⁴⁰ K [mBq/m ³]	²³² Th [mBq/m ³]	²²⁶ Ra [mBq/m ³]	²¹⁰ Pb [mBq/m ³]	²³⁸ U [mBq/m ³]
55-6	2-4.2.2013.	48	77,472	1,9±1,1	0,28±0,13	0,29±0,09	< MDA	< MDA
55-7				2,6±1,3	1,3±0,4	1,8±0,5	< MDA	< MDA
55-8				< MDA	< MDA	0,91±0,21	< MDA	< MDA
66	9-11.4.2013.	48	77,472	< MDA	0,72±0,25	2,6±1,5	22±13	27±6
73	27-29.5.2013.	51	82,314	< MDA	1,3±0,8	3,4±1,8	16±10	28±6



Slika 3. Gama spektar suspendovanih čestica SET 66 sa identifikacijom gama linija.

Tabela 2. Rezultati gama-spektrometrijskih ispitivanja setova filtera u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“.

SET	Datum uzorkovanja	V [m ³]	²¹⁰ Pb [mBq/m ³]	²³⁵ U [mBq/m ³]	²³⁸ U [mBq/m ³]	⁴⁰ K [mBq/m ³]	²²⁶ Ra [mBq/m ³]	²²⁸ Ac [mBq/m ³]
14	19-21.05.2012.	77,472	0,62±0,14	0,15±0,04	1,23±0,26	3,37±0,21	2,18±0,18	0,22±0,04
15	25-27.05.2012.	77,472	23±5	0,168±0,013	1,5±0,6	2,14±0,14	2,8±0,3	<MDA
21	30.06.-02.07.2012.	77,472	0,49±0,03	0,035±0,003	1,14±0,28	<MDA	<MDA	<MDA
23	06-08.07.2012.	45,192	<MDA	0,019±0,002	9±2	12,6±0,08	<MDA	<MDA
24	10-12.07.2012.	72,63	<MDA	0,044±0,004	1,5±0,2	2,09±0,12	<MDA	<MDA
39	11-13.10.2012.	77,472	<MDA	0,22±0,04	5,4±1,4	2,75±0,15	<MDA	<MDA
40	17-19.10.2012.	77,472	9,4±1,7	0,15±0,03	6,8±1,7	4,18±0,23	<MDA	<MDA
43	4-6.11.2012.	77,472	<MDA	0,059±0,008	0,71±0,19	0,29±0,02	<MDA	<MDA
44	10-12.11.2012.	77,472	23±3	0,090±0,013	8,4±0,4	<MDA	0,29±0,03	<MDA
72	21-23.05.2013.	77,472	<MDA	0,10±0,01	4,0±0,9	1,50±0,12	<MDA	<MDA

Tabela 3. Ukupne aktivnosti pojedinih frakcija svih setova zajedno (setovi: 14, 15, 21, 23, 24, 39, 40, 43, 44 i 72) ispitanih u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“.

Oznaka frakcije	²¹⁰ Pb [Bq]	²³⁵ U [Bq]	²³⁸ U [Bq]	⁴⁰ K [Bq]	²²⁶ Ra [Bq]	²²⁸ Ac [Bq]
f1	1,2(3)	0,010(1)	0,35(8)	0,32(2)	0,14(2)	0,023(4)
f2	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA	<MDA
f3	0,23(2)	0,035(5)	0,48(13)	<MDA	<MDA	<MDA
f4	<MDA	0,0006(2)	0,025(7)	0,127(8)	<MDA	<MDA
f5	0,78(13)	0,009(1)	0,35(9)	0,222(13)	<MDA	0,012(2)
f6	<MDA	0,0054(13)	0,038(1)	0,027(2)	<MDA	<MDA
f7	2,23(13)	0,026(3)	0,31(6)	0,022(1)	<MDA	<MDA
f8	<MDA	<MDA	0,19(3)	0,091(6)	<MDA	0,091(6)
f9	0,23(5)	0,013(9)	0,492(9)	0,34(2)	0,070(5)	0,0033(5)
f10	<MDA	<MDA	0,18(5)	0,060(4)	<MDA	<MDA
f11	0,69(9)	0,0007(2)	<MDA	0,026(2)	<MDA	<MDA

Rezultati hemijskih analiza čestica atmosferskog aerosola dati su u Tabeli 4. Najzastupljeniji elementi u ispitivanom aerosolu su bili Ca, Fe, Al, K i Mg. Najveći procentualni udeo elemenata As, Cd, K, Pb i Sb bio je prisutan u frakcijama čestica finog moda, dok su u grubom modu dominirali Al, Ba, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn i Ti.

Tabela 4. Raspon koncentracija čestica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na svim ispitanim filterima po frakcijama u periodu od marta 2012. do decembra 2013. godine [6].

Frakcija (opseg dijametara)	Raspon koncentracija čestica [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
f1 (0,0085–0,018 μm)	0,00 – 1,29
f2 (0,018–0,035 μm)	0,13 – 1,81
f3 (0,035–0,07 μm)	0,00 – 2,32
f4 (0,07–0,138 μm)	0,39 – 4,26
f5 (0,138–0,27 μm)	0,65 – 7,74
f6 (0,27–0,53 μm)	1,94 – 22,46
f7 (0,53–1,06 μm)	1,55 – 42,85
f8 (1,06–2,09 μm)	1,03 – 30,46
f9 (2,09–4,11 μm)	0,90 – 13,81
f10 (4,11–8,11 μm)	0,90 – 10,58
f11 (8,11–16 μm)	0,90 – 9,04

4. Diskusija rezultata i zaključak

Gama-spektrometrijska metoda je dovoljno precizna za merenje radioaktivnosti suspendovanih čestica iz atmosfere uzorkovanih na filterima kaskadnog impaktora niskog pritiska koji je u stanju da razdvoji fine frakcije uzorkovanih čestica u skladu sa međunarodnim standardima. Prednost ove metode je nedestruktivna i brza priprema uzoraka za merenje i preporuka je da se izvrše promptna merenja odmah nakon uzorkovanja zbog mogućnosti detekcije radonovih i toronovih potomaka pre sečenja filtera za mikrotalasnu digestiju. U radu su dati preliminarni rezultati ispitivanja sadržaja radionuklida filtera sa uzorkovanim suspendovanim česticama iz atmosfere koja su sprovedena u dve naučne institucije sa različitim detektorskim sistemima. Prirodni radionuklidi – kalijum, torijum, radijum, olovo i uranijum su detektovani u tragovima, dok antropogeni radionuklidi nisu detektovani ni u jednom ispitanom uzorku. Problemi detekcije koji zaslužuju detaljniju analizu u narednom periodu su: problem fona i ispitivanje čistih nosača, filtera/Petrijevih šolja zbog preciznijeg određivanja aktivnosti samih suspendovanih čestica i drugi problem određivanja efikasnosti za komplikovanu geometriju uzorka.

Poređenjem rezultata ispitivanja radioaktivnosti (Tabele 1 i 3) i koncentracija čestica po frakcijama (Tabela 4), može se zaključiti da se maksimalne koncentracije mere u frakcijama f6, f7 i f8 koje predstavljaju finu komponentu koja se vezuje za sagorevanje fosilnih goriva i izuzetno se registruje tokom jesenjih i zimskih meseci [6]. Gruba frakcija f9, f10 i f11 koja se objašnjava dominantno resuspenzijom prašine i čestice zemljišta takođe sadrži prirodne radionuklide (kalijum, uranijum i olovo) što ukazuje na prirodno poreklo ove frakcije koja je dominantna u toku prolećnih i letnjih meseci zbog intenzivnog dejstva vetrova.

Ispitivanje korelacije koncentracija aktivnosti radionuklida i elementarnog sastava suspendovanih čestica iz atmosfere na pojedinim setovima (Tabela 5) pokazuju dobro slaganje za većinu ispitanih radionuklida (osim za ^{40}K) i detektovanih hemijskih elemenata, što verovatno ukazuje na isto poreklo.

Tabela 5. Vrednosti Pirsonovih koeficijenata linearne regresione analize korelacija između koncentracija aktivnosti radionuklida i koncentracije hemijskih elemenata za pojedine setove.

r	⁴⁰ K	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³⁸ U
Na	-0,65	0,5	0,9	0,94	0,99
Mg	-0,44	0,56	0,76	0,52	0,7
Al	-0,61	0,54	0,9	0,85	0,95
K	-0,13	0,19	0,35	0,74	0,61
Ca	-0,63	0,49	0,83	0,68	0,82
Ti	-0,46	0,1	0,27	0,3	0,45
V	-0,35	0,06	0,38	0,79	0,64
Cr	0,21	0,92	0,73	0,42	0,43
Mn	-0,6	0,56	0,9	0,81	0,92
Fe	-0,53	0,59	0,87	0,7	0,84
Co	-0,48	0,09	0,49	0,86	0,72
Cu	-0,58	0,54	0,86	0,72	0,86
Zn	-0,65	0,46	0,88	0,97	1
As	-0,44	0,57	0,77	0,55	0,72
Cd	-0,53	0,55	0,84	0,76	0,88
Sb	-0,39	0,56	0,71	0,43	0,62
Ba	-0,4	0,55	0,71	0,44	0,63
Pb	-0,42	0,55	0,73	0,47	0,65

Međutim poređenje izmerenih koncentracija elemenata i ukupne aktivnosti u pojedinim frakcijama svih ispitanih setova na istom detektorskom sistemu (Tabela 6) dobijaju se većinom negativne ili niske korelacije što najverovatnije ukazuje na veliku zavisnost od vremenskih prilika i grejne sezone.

Tabela 6. Vrednosti Pirsonovih koeficijenata linearne regresione analize korelacija između koncentracija aktivnosti radionuklida i koncentracija hemijskih elemenata za frakcije f6 – f11 svih setova (setovi: 14, 15, 21, 23, 24, 39, 40, 43, 44 i 72).

r	²¹⁰ Pb	²³⁵ U	²³⁸ U	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac
Na	-0,35	-0,69	-0,27	-0,1	-0,26	0,62
Mg	-0,45	-0,64	-0,08	0,08	-0,02	0,07
Al	-0,2	-0,54	-0,29	0,03	0,02	-0,09
K	-0,12	-0,33	-0,35	-0,4	-0,54	0,9
Ca	-0,38	-0,72	-0,38	-0,13	-0,2	-0,01
Ti	0	-0,38	-0,24	0	-0,02	0,17
V	-0,72	-0,25	0,22	0,45	0,37	0,24
Cr	-0,01	0,08	0,7	0,74	0,69	0,09
Mn	-0,34	-0,48	0	0,07	-0,13	0,94
Fe	-0,42	-0,52	0,13	0,26	0,07	0,8
Co	0,06	-0,31	-0,42	-0,12	-0,05	-0,19
Cu	-0,16	-0,16	0	-0,09	-0,25	0,95
Zn	-0,34	-0,44	-0,08	0,02	-0,17	0,99
As	-0,07	-0,49	-0,48	-0,21	-0,25	0,37
Cd	0,47	0,47	-0,04	-0,43	-0,44	0,38
Sb	-0,29	-0,39	-0,11	-0,06	-0,24	0,99
Ba	-0,36	-0,22	0,55	0,8	0,74	0,03
Tl	0,32	0,37	0,41	0,55	0,65	-0,25
Pb	-0,21	-0,25	0,02	-0,01	-0,19	0,99

5. Zahvalnica

Rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije Ugovorima br. 451-03-9/2021-14/ 200125, 451-03-9/2021-14/200026 i br. No. 451-03-9/2021-14/ 200017.

6. Literatura

- [1] Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe
- [2] Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha, "Službeni glasnik Republike Srbije" br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013
- [3] Hernández, F., Hernández-Armas, J., Catalán, A., Fernández-Aldecoa, J.C., Karlsson, L., 2004. Gross alpha, gross beta activities and gamma emitting radionuclides composition of airborne particulate samples in an oceanic island. *Atmos. Environ.* 39, 4057–4066.
- [4] Marguerite M. Nyhana, Mary Rice, Annelise Blomberg, Brent A. Coull, Eric Garshick, Pantel Vokonas, Joel Schwartz, Diane R. Gold, Petros Koutrakis, 2019. Associations between ambient particle radioactivity and lung function *Environment International* 130, 104795
- [5] IARC Scientific Publications; 161, 2013, Air pollution and cancer, editors, K. Straif, A. Cohen, J. Samet ISBN 978-92-832-2166-1
- [6] Đorđević D., A. Mihajlidi-Zelić A., Relić D., Ignjatović Lj., Huremović J., Stortini A.M., Gambaro A., 2012. Size-segregated mass concentration and water-soluble inorganic ions in an urban aerosol of the Central Balkans (Belgrade). *Atmospheric Environment* 46, 309-317.
- [7] Karanasiou, A. A., Sitaras, I. E., Siskos, P. A., & Eleftheriadis, K.(2007). Size distribution and sources of trace metals and nalkanes in the Athens urban aerosol during summer. *Atmospheric Environment*, 41, 2368–2381.

**RADIOACTIVITY TESTING OF SUSPENDED ATMOSPHERIC PARTICLES
SAMPLED BY LOW PRESSURE CASCADE IMPACTOR**

**Sofija FORKAPIĆ¹, Dragana ĐORĐEVIĆ², Jelena ĐURIČIĆ-MILANKOVIĆ³,
Igor ČELIKOVIĆ⁴, Aleksandar KANDIĆ⁴, Jan HANSMAN¹ and Kristina BIKIT¹**

1) *University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 4, 21000*

*Novi Sad, Serbia, sofija@df.uns.ac.rs, jan.hansman@df.uns.ac.rs,
kristina.bikit@df.uns.ac.rs*

2) *Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy - Centre of Excellence in
Environmental Chemistry and Engineering, Njegoševa 12 (Studentski trg 12-16),
11000 Beograd, dragadj@chem.bg.ac.rs*

3) *Academy of Applied Studies Šabac, Department of Medical and
Business-Technological Studies, Hajduk Veljkova 10, Šabac,
jdjuricmilankovic@vmpts.edu.rs*

4) *Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Laboratory for Nuclear
and Plasma Physics, Mike Petrovića Alasa 12-14, Vinča, Beograd,
icelikovic@vin.bg.ac.rs, akandic@vin.bg.ac.rs*

ABSTRACT

The main sources of air pollution in Serbia are the energy sector, which includes thermal power plants, heating plants and individual heating of households, then the transport sector and industrial activity (oil refineries, chemical industry, mining, etc.). It is estimated that the number of premature deaths caused by air pollution in Serbia is among the highest in Europe. The most important parameters for monitoring are the concentration of particles and their size distribution. Sampling of suspended atmospheric particles (particulate matter - PM) fractionated by size was conducted in the period from March 2012 to December 2013 in the suburban part of Belgrade at the background measuring station Zeleno brdo, as a receptor site. Every sixth day, one averaged 48-hour sample of aerosol particles was taken, separated into eleven intervals of aerodynamic particle diameters (D_p) using a low-pressure cascade impactor prof. dr. Berner-LPI $\sqrt{25/0.0085/2}$. The microwave digestion technique was used to destroy the collected aerosol particle deposit from the six tested size ranges: $0.27 \leq D_p \leq 0.53 \mu\text{m}$, $0.53 \leq D_p \leq 1.06 \mu\text{m}$, $1.06 \leq D_p \leq 2.09 \mu\text{m}$, $2.09 \leq D_p \leq 4.11 \mu\text{m}$, $4.11 \leq D_p \leq 8.11 \mu\text{m}$ and $8.11 \leq D_p \leq 16 \mu\text{m}$. Concentrations of 25 test elements were determined using induced conjugated plasma by mass spectrometry. The most common elements in the tested aerosol were Ca, Fe, Al, K and Mg. The highest percentage of As, Cd, K, Pb and Sb was present in the fractions of fine mode particles, while in the coarse mode Al, Ba, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn and Ti dominated. Subsequently, gamma spectrometric analysis of the samples was performed. One part of the study included the measurement of each of the 11 fractions separately, and the other part the analysis of all 11 fractions at once. Also, the activities of several different samples of the same fraction were measured. Traces of natural radionuclides were found in the spectrum, while radionuclides of artificial origin were not detected. The paper discusses the investigated correlations of the obtained results of the activity concentrations of radionuclides with the dominant elemental composition and particle diameter, as well as the possible origin of air pollution.