

ISPITIVANJE RADIOAKTIVNOSTI SUSPENDOVANIH ČESTICA ATMOSFERE UZORKOVANIH KASKADNIM IMPAKTOROM NISKOG PRITISKA

Sofija FORKAPIĆ¹, Dragana ĐORĐEVIĆ², Jelena ĐURIČIĆ-MILANKOVIĆ³, Igor ČELIKOVIĆ⁴, Aleksandar KANDIĆ⁴, Jan HANSMAN¹, Kristina BIKIĆ¹

¹Univerzitet 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.bikic@df.uns.ac.rs

²NU 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

³Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za medicinske i poslovno-tehnološke studije, Hajduk Veljkova 10, Šabac, jduricmilankovic@vmpts.edu.rs

⁴Institut 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



UVOD

- Pojmovi PM10 i PM2,5 koji se koriste kako u evropskoj, tako i u domaćoj zakonskoj regulativi, predstavljaju grube i fine čestice atmosferskog aerosola prema EPA klasifikaciji (PM10 – čestice čiji aerodinamički dijametar je manji ili jednak 10 µm i PM2,5 – čestice čiji je aerodinamički prečnik manji ili jednak 2.5 µm).
- 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)
- Uzorkovanje suspendovanih čestica atmosfere sprovedeno je u periodu od marta 2012. godine do decembra 2013. godine u Beogradu na pozadinskoj mernoj stanici Zeleno brdo.
- 48-časovni uzorak aerosolnih čestica razdvojen je na jedanaest intervala aerodinamičkih prečnika čestica (Dp) pomoću kaskadnog impaktora niskog pritiska prof. dr. Bernera - LPI 25/0,0085/2 u opsegu veličine čestica (0,0085 µm < Dp < 16 µm).
- 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.

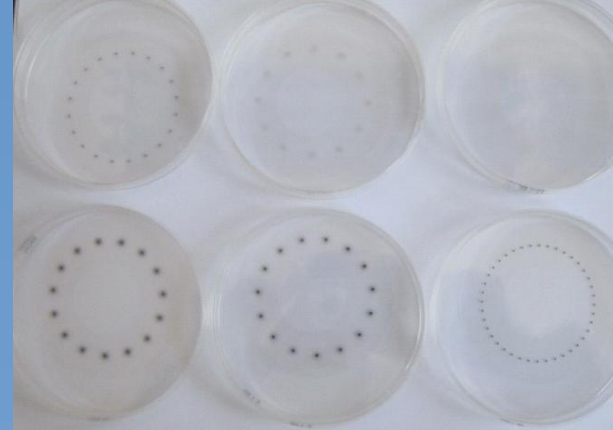
ISTRAŽIVANO PODRUČJE, MATERIJAL I METODE



Kaskadni impaktor niskog pritiska Prof. Dr. Berner – LPI 25/0,0085/2 (levo) sa ISAP vakuum pumpa (sredina) i presa za montiranje (desno)



Aluminijumski filteri sa depozitima



Tedlar filteri sa depozitima

□ 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.

□ Gama spektrometrijska analiza suspendovanih čestica na filterima je izvršena na HPGe detektorima u pasivnoj zaštiti u toku 2020. godine u Laboratoriji za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonišujućeg zračenja na Departmanu za fiziku, PMF-a u Novom Sadu i u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“

□ 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.

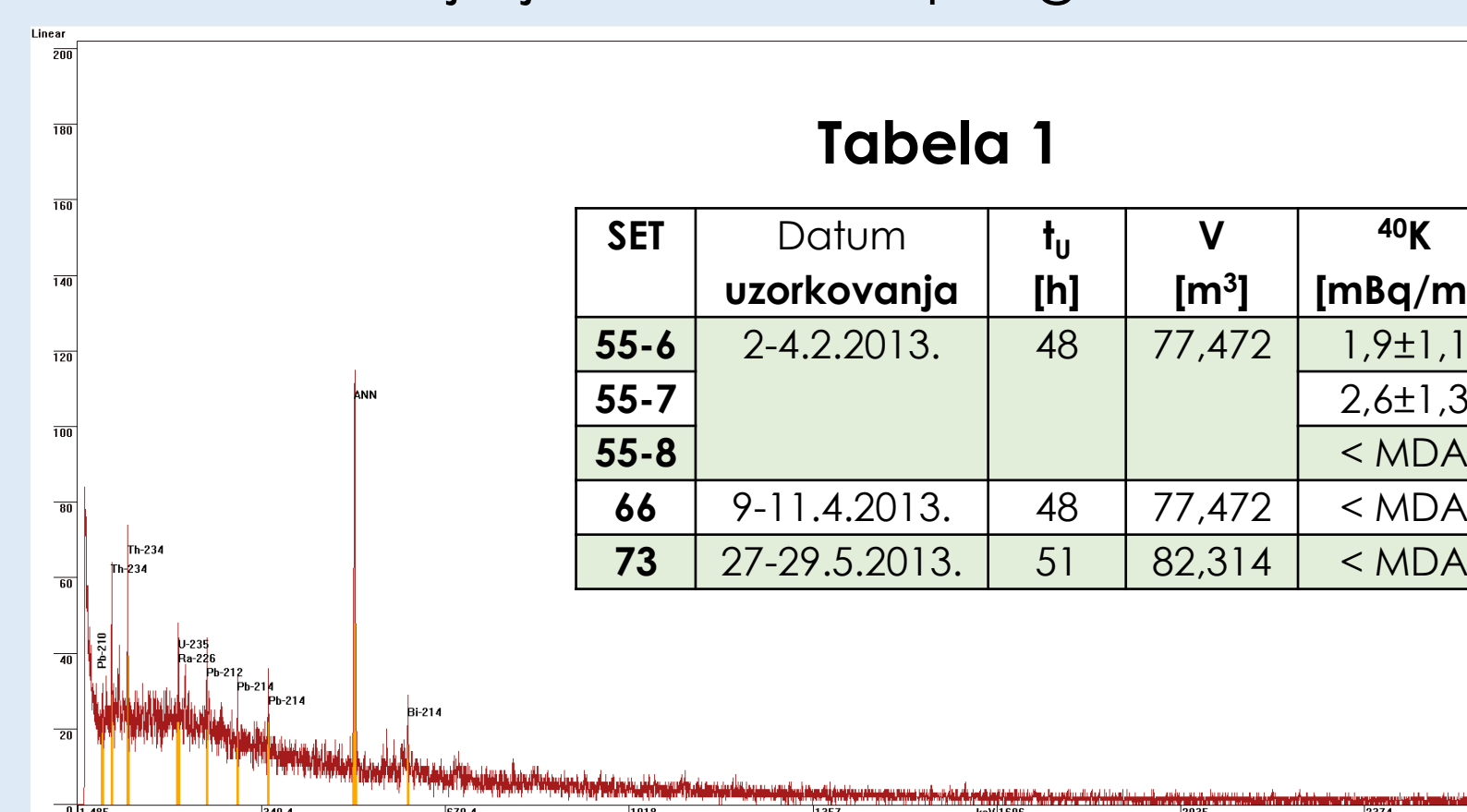


Tabela 1

SET	Datum uzorkovanja	t ₀ [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

REZULTATI

□ U Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku, Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ mereni su kompletni setovi filtera koji se odnose na određeni datum i vreme uzorkovanja koji su navedeni u Tabeli 2 (setovi: 14, 15, 21, 23, 24, 39, 40, 43, 44 i 72), kao i pojedinačne frakcije svih ovih setova zajedno (Tabela 3). Vreme merenja je iznosilo u opsegu od 100 – 335 ks

Tabela 2

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 4. Raspon koncentracija čestica (µg/m³) na svim ispitanim filterima po frakcijama u periodu od marta 2012. do decembra 2013. godine

Tabela 3

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

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

Tabela 5. Vrednosti Pirsonovih koeficijenta korelacija između koncentracija aktivnosti radionuklida i koncentracije hemijskih elemenata za pojedine setove

r	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Ba	Pb
⁴⁰ K	-0.65	-0.44	-0.61	-0.13	-0.63	-0.46	-0.35	0.21	-0.60	-0.53	-0.48	-0.58	-0.65	-0.44	-0.53	-0.39	-0.40	-0.42
²³² Th	0.50	0.56	0.54	0.19	0.49	0.10	0.06	0.92	0.56	0.59	0.09	0.54	0.46	0.57	0.55	0.56	0.55	0.55
²²⁶ Ra	0.90	0.76	0.90	0.35	0.83	0.27	0.38	0.73	0.90	0.87	0.49	0.86	0.88	0.77	0.84	0.71	0.71	0.73
²¹⁰ Pb	0.94	0.52	0.85	0.74	0.68	0.30	0.79	0.42	0.81	0.70	0.86	0.72	0.97	0.55	0.76	0.43	0.44	0.47
²³⁸ U	0.99	0.70	0.95	0.61	0.82	0.45	0.64	0.43	0.92	0.84	0.72	0.86	1.00	0.72	0.88	0.62	0.63	0.65

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

r	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Ba	Pb	
²¹⁰ Pb	-0.35	-0.45	-0.20	-0.12	-0.38	0.00	-0.72	-0.01	-0.34	-0.42	0.06	-0.16	-0.34	-0.07	0.47	-0.29	-0.36	0.32	-0.21
²³⁵ U	-0.69	-0.64	-0.54	-0.33	-0.72	-0.38	-0.25	0.08	-0.48	-0.52	-0.31	-0.16	-0.44	-0.49	0.47	-0.39	-0.22	0.37	-0.25
²³⁸ U	-0.27	-0.08	-0.29	-0.35	-0.38	-0.24	0.22	0.70	0.00	0.13	-0.42	0.00	-0.08	-0.48	-0.04	-0.11	0.55	0.41	0.02
⁴⁰ K	-0.10	0.08	0.03	-0.40	-0.13	0.00	0.45	0.74	0.07	0.26	-0.12	-0.09	0.02	-0.21	-0.43	-0.06	0.80	0.55	-0.01
²²⁶ Ra	-0.26	-0.02	0.02	-0.54	-0.20	-0.02	0.37	0.69	-0.13	0.07	-0.05	-0.25	-0.17	-0.25	-0.44	-0.24	0.74	0.65	-0.19
²²⁸ Ac	0.62	0.07	-0.09	0.90	-0.01	0.17	0.24	0.09	0.94	0.80	-0.19	0.95	0.99	0.37	0.38	0.99	0.03	-0.25	0.99

ZAKLJUČAK

□ 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.

□ 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 ⁴⁰K) i detektovanih hemijskih elemenata, što verovatno ukazuje na isto poreklo.

ZAHVALNICA

Istraživanja je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovorima Ev. br. 451-03-9/2021-14/ 200125, 451-03-9/2021-14/200026 i 451-03-9/2021-14/ 200017)