



ПОСТЕР СЕКЦИЈА



**XXXII Симпозијум
Друштва за заштиту од зрачења
Србије и Црне Горе**

**04-06. октобар 2023. године
Будва, Црна Гора**

OPRAVDANOST, OPTIMIZACIJA I REFERENTNI NIVOI U SITUACIJAMA POSTOJEĆEG IZLAGANJA

Mirjana B. Radenković¹, Mirjana Ćujić¹, Stefan Rafajlović²

¹Institut za nuklearne nauke Vinča – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd

²Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad

REGULATIVA, STANDARDI I PREPORUKE

Zakon o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbednosti, Sl. Gl.RS, br. 95/2018 i 10/2019.

EU Council directive 2013/59/Euratom, 2013.

IAEA International Basic Safety Standards, GSR Part 3, IAEA, 2011

ICRP Recommendations of the ICRP, Publication 103, 2007.

D.A.Cool. Review of the ICRP system of protection: the approach to existing exposure situations, Annals of the ICRP 44(1S)179-187, 2015.

OPRAVDANOST I OPTIMIZACIJA ZAŠTITE

-Procena rizika po stanovništvo
-ALARA princip
- procenu izloženosti radnika za saniranje stanja,
- upravljanje radioaktivnim otpadom,
- namena prostora i prostorno planiranje,
- zaštitu životne sredine,
- etički i sociološki faktori
- cost-benefit analiza
- uvodjenje referentnih nivoa

-UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

-zaštitu biljnih i životinjskih vrsta od štetnih efekata zračenja
- uticaj na biodiverzitet
-održivost u dužem vremenskom periodu
-korišćenje prirodnih resursa,
- odlaganje materija u životnu sredinu

SITUACIJE POSTOJEĆEG IZLAGANJA:

- zaostala kontaminacija nastale prethodnim delatnostima ili kao posledica vanrednog događaja koji ne mogu da se zanemare sa stanovišta zaštite od zračenja;
- povećane radioaktivnosti koja je posledica prisustva prirodnih izvora zračenja;
- korišćenja potrošačkog proizvoda koji sadrži prirodne izvore zračenja.

UPRAVLJANJE SITUACIJAMA POSTOJEĆEG IZLAGANJA:

- Identifikacija (strategija, regulatorni okvir)
- odgovornost za upravljanje/ zainteresovane strane
- karakterizacija (nosioци ovlašćenja)
- opravdanost, optimizacija i postavljanje referentnih nivoa
- implemenatacija akcionih planova



Sl 1: Sistem zaštite od zračenja se uspostavlja za sve situacije izlaganja i za sve kategorije izloženosti.

ZAKLJUČAK

Donošenjem dugoročne nacionalne *Strategije upravljanja situacijama postojećeg izlaganja*, sa odgovarajućim akcionim planovima, može se pristupiti implementaciji međunarodnih standarda u rešavanju ovog pitanja

REFERENTNI NIVOI

Standardi MAAE : referentni nivo je nivo doze ili nivo rizika iznad koga se smatra neprikladnim planirati izlaganje, a ispod koga se i dalje primenjuju mere optimizacije radijacione sigurnosti i zaštite od zračenja

ICRP preporučuje opseg od dva reda veličine za granične doze uključujući i referentne nivo.

1-20 mSv - kada izlaganje koristi pojedincu, npr pojedincu iz stanovništva u slučaju situacija postojećeg izlaganja,

20-100 mSv - izuzetno u slučaju izlaganja izvorima van regulatorne kontrole ili za izlaganja zaostaloj radioaktivnosti nakon okončanja vanrednog dogadjaja. R

Iznad 100 mSv - akutno ili izlaganje u periodu do godinu dana- neprihvatljivim za situacije postojećeg izlaganja

Faktori za izbor referentnog nivoa:

-priroda izlaganja
-praktičnost smanjenja ili prevencije izlaganja
- očekivana koristi za pojedince ili društvo
- izbegavanje socijalno neprihvatljivih opcija
- razmatranje međunarodnog iskustva i primera dobre prakse

Preporuka za uspostavljanje metodologije za utvrđivanje referentnih nivoa, koje utvrđuje, prati i revidira kompetentno nacionalno regulatorno telo.

RADIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA NA TERITORIJI VOJVODINE

Jovana KNEŽEVIC RADIĆ¹, Sofija FORKAPIĆ¹, Danijel VELIMIROVIĆ¹, Jan HANSMAN¹,
Kristina DEMIRHAN¹, Dušan MRĐA¹, Predrag KUZMANOVIĆ^{1,2}

1) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija
2) Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za medicinske i poslovno-tehnološke studije, Laboratorija za fiziku, Šabac, Srbija
jovana.knezevic@df.uns.ac.rs

UVOD

Zemljište je značajan deo ekosistema svake države i osnov agrarne proizvodnje. Autonomna pokrajina Vojvodina se nalazi na severu Republike Srbije i predstavlja ostatke nekadašnjeg Panonskog mora. Svako zemljište, bez obzira na tip i način korišćenja, sadrži određen deo radionuklida, kako prirodnih, koji su dominantno primordijalnog porekla, tako i veštačkih, koji su u najvećoj meri dospeli na ovu teritoriju nakon Černobiljskog akcidenta.

Poznavanje koncentracije radionuklida u zemljištu je bitno kako sa aspekta monitoringa radioaktivnosti, transporta radionuklida u atmosferi, modelovanja njihove distribucije, tako i sa stanovišta procene radiološkog rizika za populaciju. Radiološki rizik se može procenjivati u slučaju spoljašnjeg izlaganja, ali i u slučaju unutrašnjeg izlaganja usled ingestije biljnih kultura gajenih na ispitivanom zemljištu.

U ovom radu, ispitana je koncentracija aktivnosti radionuklida u 7 uzoraka poljoprivrednog zemljišta sa teritorije Vojvodine metodom gama spektrometrije. Na mestima uzorkovanja vršena su dozimetrijska merenja. Takođe, određena je ekshalacija radona merenja aktivnim uređajem RAD7. Na osnovu dobijenih vrednosti, procenjen je radiološki rizik koji potiče od spoljašnjeg izlaganja gama zračenju, kao i od ingestije biljnih kultura gajenih na analiziranim zemljištima.

MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje je vršeno na sedam lokacija na teritoriji Vojvodine, koji pripadaju Bačkoj regiji. Lokacije sa kojih su uzeti uzorci su poljoprivredna zemljišta u mestima Bački Gračac, Veternik (Novi Sad), Kljajićevo, Bezdan, Doroslovo, Ratkovo i Bački Petrovac.

Uzorkovanje je vršeno prema metodi IAEA TRS 295, pri čemu je dubina sa koje su uzimani uzorci bila (0-5) cm (površinski sloj).

Koncentracije aktivnosti radionuklida merene su standardnom metodom gama spektrometrije IAEA TRS 295, germanijumskim detektorom visoke čistoće (HPGe) i relativne efikasnosti 33 %.

Na svakoj lokaciji gde je vršeno uzorkovanje, urađena su i dozimetrijska merenja jačine ambijentalnog ekvivalenta doze, uređajem INSPECTOR+ na visini 1 m od površine zemljišta.

Pored gama spektrometrijskih i dozimetrijskih merenja, vršena su i merenja ekshalacije radona iz analiziranih uzoraka zemljišta. U te svrhe, korišćena je merna komora (eksikator) zapremine 6,20 l (ukupne efektivne zapremine 6,58 l), koja je spojena sa aktivnim radonskim uređajem RAD7, čineći zatvoren sistem.

REZULTATI

Tabela 1: Rezultati gama spektrometrijskih i dozimetrijskih merenja

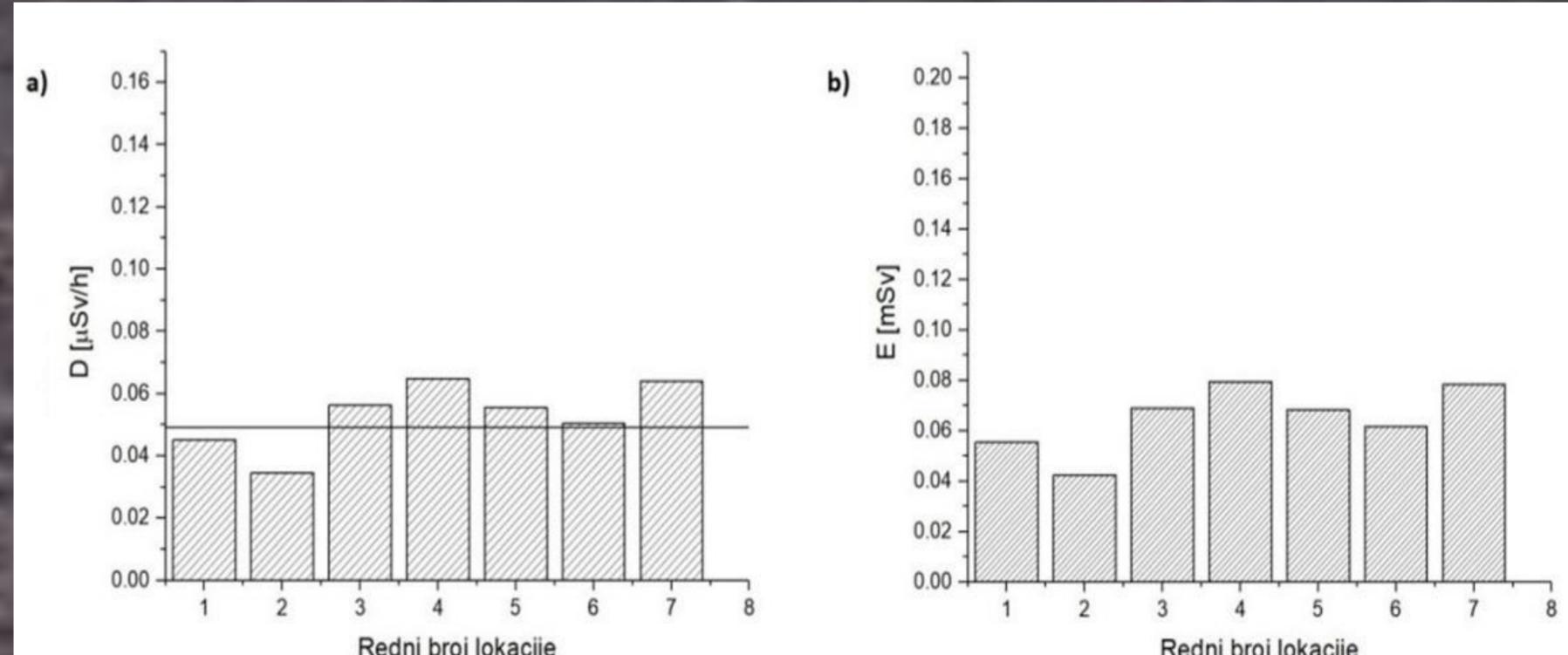
RB uzorka	A [Bq/kg]					H [μSv/h]
	K-40	Cs-137	Ra-226	Th-232	U-238	
1	429±10	3,23±0,20	25,7±0,8	25,5±1,0	35,0±2,1	0,130
2	342±15	2,08±0,14	17,2±0,6	20,4±0,8	17±3	0,122
3	451±8	3,56±0,16	34,6±0,9	35,5±1,8	34,5±2,2	0,131
4	558±13	2,39±0,18	37,6±1,0	40,0±1,5	38,3±2,6	0,125
5	504±22	3,93±0,18	28,0±0,5	35,8±1,5	28±4	0,173
6	448±11	2,06±0,18	31,0±0,7	28,8±1,8	49±3	0,185
7	509±9	3,69±0,16	40,3±1,6	40±2	29,8±2,9	0,131

Tabela 2: Vrednosti ravnotežne koncentracije radona C_{eq} , koeficijenta emanacije ε i brzine masene ekshalacije radona E_m

RB uzorka	C_{eq} [Bq/m³]	ε [%]	E_m [10⁻⁵Bq/kgs]
1	634±30	62,8	3,41
2	495±10	82,2	2,98
3	178±33	14,6	1,06
4	247±10	16,5	1,31
5	854±43	77,0	4,55
6	209±12	17,6	1,15
7	25±2	1,67	0,14

Tabela 3: Opsezi procenjenih godišnjih efektivnih doza od ingestije biljnih kultura gajenih na ispitivanom zemljištu

Radionuklid	E _{ing} [mSv]				
	Žitarice		Korenasto povrće		
	Zrno	Stabljika	Koren	Stabljika	
K-40	0,145–0,237	0,216–0,352	-	-	0,080–0,131
Cs-137	(0,718–1,37)·10⁻⁴	(3,71–7,08)·10⁻⁴	(0,498–0,951)·10⁻⁴	(0,469–0,895)·10⁻⁴	
Ra-226	0,008–0,018	0,016–0,038	0,015–0,035	0,015–0,035	0,013–0,030
Th-232	(9,00–18)·10⁻⁴	(2,60–5,20)·10⁻³	(1,70–3,30)·10⁻³	(1,81–3,55)·10⁻³	(1,64–3,22)·10⁻³
U-238	(0,438–1,260)·10⁻³	(1,91–5,50)·10⁻³	(2,85–8,21)·10⁻⁴	(0,447–1,290)·10⁻⁴	



Slika 1: Jačine ambijentalnog ekvivalenta doze (a) i godišnje efektivne doze (b).

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

- Na osnovu gama spektrometrijskih merenja sadržaja radionuklida u uzorcima zemljišta, može se zaključiti sledeće:
- koncentracije aktivnosti U-238 su iznad prosečnih vrednosti u svetu na lokacijama Bački Gračac, Kljajićevo, Bezdan i Ratkovo;
- koncentracije aktivnosti Ra-226 su iznad prosečnih vrednosti u svetu na lokacijama Kljajićevo, Bezdan i Bački Petrovac;
- koncentracije aktivnosti Th-232 su ispod prosečnih vrednosti u svetu na svim lokacijama;
- koncentracije aktivnosti K-40 su iznad prosečnih vrednosti u svetu na svim lokacijama sem na lokaciji Veternik (Novi Sad).
- Dobijeni rezultati u ovoj studiji su uporedivi sa rezultatima ranijih ispitivanja na teritoriji Vojvodine, dok je koncentracija aktivnosti Cs-137 očekivano niža od vrednosti izmerenih 2001. i 2010. godine.
- Izračunate jačine ambijentalnog ekvivalenta doze su iznad proseka u svetu na svim lokacijama sem na lokacijama Bački Gračac i Veternik (Novi Sad). Međutim, godišnje efektivne doze su ispod vrednosti od 1 mSv (granica za stanovništvo propisana zakonskom regulativom Republike Srbije) na svim ispitivanim lokacijama i daleko ispod prosečne doze u svetu koja potiče od prirodnog zračenja (2,4 mSv).
- Vrednosti koeficijenta emanacije radona se nalaze u opsegu od 0,17 do 0,82, pri čemu su u tri uzorka (Bački Gračac, Veternik i Doroslovo) vrednosti koeficijenta emanacije nešto više od uobičajenih vrednosti za zemljište Brzina masene ekshalacije radona je u opsegu (0,14–4,55) Bq/kg.
- Procenjene godišnje efektivne doze od ingestije biljnih kultura za pojedinačne radionuklide su u najvećoj meri ispod prosečne vrednosti od 0,3 mSv.
- Nešto veće vrednosti su dobijene u slučaju procene doza za ingestiju stabljike žitarice za radionuklid K-40 na lokacijama Bački Gračac, Kljajićevo, Bezdan, Doroslovo, Ratkovo i Bački Petrovac. Prema dobijenim rezultatima, najviše radiouklida usvaja stabljika žitarice i to dominantno K-40, a potom i Ra-226.

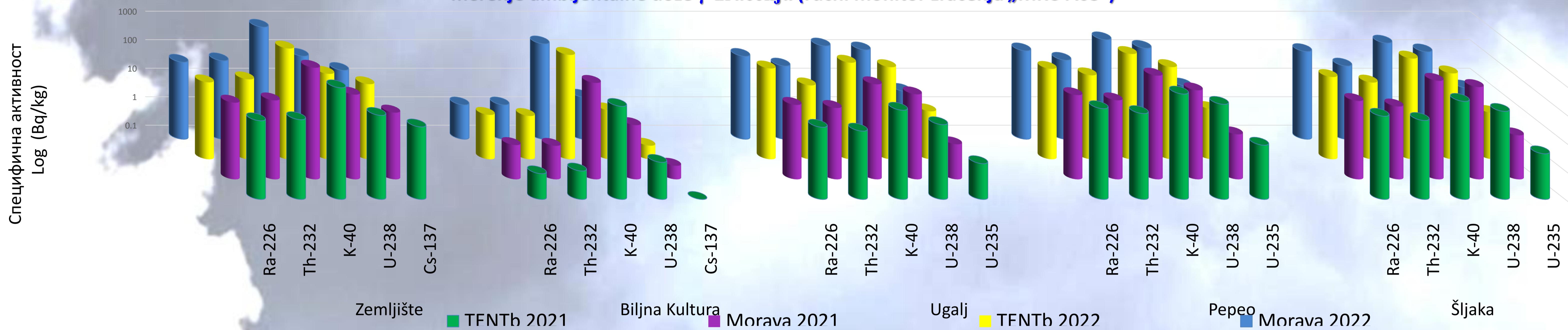
MONITORING RADIOAKTIVNOSTI I PROCENA RADIJACIONOG RIZIKA U OKOLINI TERMOELEKTRANA U REPUBLICI SRBIJI U 2021. I 2022. GODINI

I. Tanasković, J. Đukić, V. Arsić, S. Bogojević

Institut za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

METODE:

- Gamaspektrometrija (HPGe-detektori efikasnost 25% i 40%)
- Merenje ukupnog α i ukupnog β zračenja (niskofonski, proporcionalni protočni gasni alfa [efikasnost 30%] - beta [efikasnost 42%] brojač „PIC-WPC-9550“)
- merenje ambijentalne doze γ -zračenja (ručni monitor zračenja „MKC-A03“)



TERMOELEKTRANA	D (nGy/h)	E _{sp} (mSv/god)	H _{eks}
TENT „B“ za 2021.	54-99	0,07-0,12	0,3-0,6
TENT „B“ za 2022.	55-89	0,07-0,11	0,3-0,5
TE „Morava“ za 2021.	56-88	0,07-0,11	0,3-0,5
TE „Morava“ za 2022.	59-93	0,07-0,11	0,3-0,5

CILJEVI sistematske kontrole nivoa radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini termoelektrana su: procena povećanja prirodne radiaktivnosti iznad prirodnog fona u neposrednoj i bližoj okolini termoelektrana usled procesa sagorevanja uglja, procena uticaja tehnološki povećane prirodne radioaktivnosti na zdravlje radnika i stanovništva i provera prisustva i utvrđivanja porekla eventualnog lokalnog izvora veštačke radioaktivnosti.

- Rezultati gamaspektrometrijske analize, ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u rečnim i otpadnim vodama u okolini obe termoelektrane, su na nivou dozvoljenih nivoa za vode za piće.
- Rezultati gamaspektrometrijske analize pokazuju obogaćenost šljake i pepela prirodnim radionuklidima, što je posledica sagorevanja uglja u procesu rada termoelektrana.
- Vrednosti specifične aktivnosti radionuklida u zemljištu i biljnim kulturama u okolini termoelektrana su na nivou prosečnih vrednosti koje su karakteristične za područje Republike Srbije.
- Vrednost indeksa radijacionog rizika manji od 1 ukazuju da u okolini ne postoji značajni radijacioni rizik za stanovništvo usled spoljašnjeg terestrijalnog izlaganja

ZAKLJUČAK

Rezultati merenja radioaktivnosti uzorka iz radne i životne sredine u okolini termoelektrana "Nikola Tesla B" u Obrenovcu i "Morava" u Svilajncu u 2021. i 2022. godini pokazuju da preuzete mere zaštite funkcionišu u sprečavanju povećane kontaminacije prirodnim radionuklidima poreklom od rada termoelektrana. Tehnološki povećana prirodna radioaktivnost na deponijama pri sadašnjim uslovima ne predstavlja zdravstveni rizik za radnike i stanovništvo koje živi u okolini termoelektrana. Veštački radionuklidi kratkog i srednjeg vremena poluraspada nisu detektovani ni u jednom uzorku iz procesa rada termoelektrana. Ispunjeni su ciljevi monitoringa kontrole radioaktivnosti u navedenim termoelektranama u 2021. i 2022. godini.



ISPITIVANJE SADRŽAJA RADIONUKLIDA U VODI I SEDIMENTU, REKA SAVA

Branislava M. MITROVIĆ¹, Dragana OSTOJIĆ¹, Danijela LJUBISAVLJEVIĆ², Gordana PANTELIĆ¹

- 1) Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu
- 2) Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu

Uzorci vode i sedimenta prikupljeni su u jesen 2021. godine na području Beograda, Sremske Mitrovice i Kupinova (Tabela 1). Na svakoj lokaciji uzimano je po 10 litara vode, i po tri uzorka sedimenta u količini od po 1 kg.

Tabela 1. Lokacije na kojima je uzorkovana voda i sediment, reka Sava

Lokalitet	Vrsta uzorka	Koordinate
Beograd ušće Save	Voda	44°49'51.2"N 20°27'24.8"E
	Sediment 1	44°49'51.2"N 20°27'24.8"E
	Sediment 2	44°49'51.5"N 20°27'12.9"E
	Sediment 3	44°49'34.5"N 20°26'43.2"E
Sremska Mitrovic	Voda	44°57'26.5"N 19°37'00.3"E
	Sediment 1	44°57'26.5"N 19°37'00.3"E
	Sediment 2	44°57'29.9"N 19°36'41.0"E
	Sediment 3	44°57'40.5"N 19°36'46.7"E
Kupinovo	Voda	44°41'06.1"N 20°02'24.0"E
	Sediment 1	44°41'06.1"N 20°02'24.0"E
	Sediment 2	44°41'04.2"N 20°02'14.6"E
	Sediment 3	44°41'06.1"N 20°03'04.5"E



Za kalibraciju efikasnosti detektora, korišćeni su sertifikovani standardi firme „RADEK“ (Marineli 1 kg) i „CMI“ (Marineli 500 g).

Gama linije:

^{238}U - ^{234}Th (63,2 i 92,8 keV) i ^{234m}Pa (1001 keV)
 ^{226}Ra (186,1 keV)
 ^{232}Th (^{228}Ra) - ^{228}Ac (338 keV, 911,2 keV i 969 keV)
 ^{40}K (1460,8 keV) i ^{137}Cs (661,66 keV)

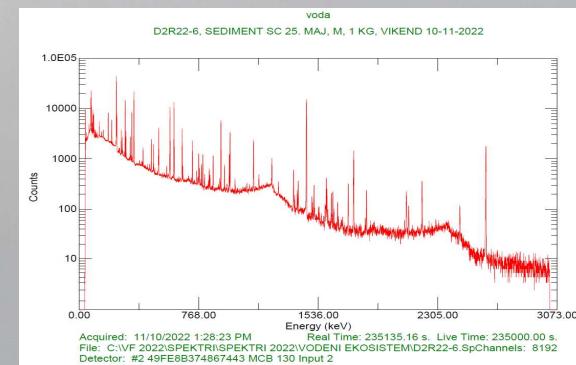
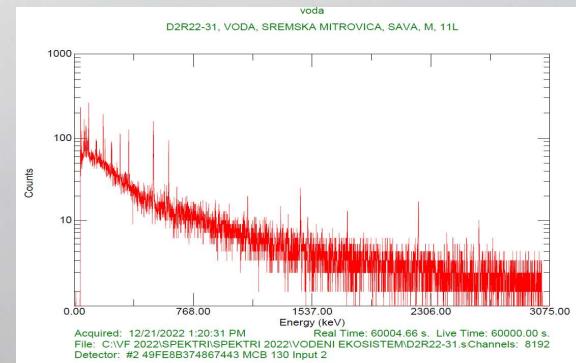


Tabela 2. Aktivnost prirodnih radionuklida (^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th) i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs u vodi i sedimentu reke Save

Lokalitet	Uzorak	^{40}K (Bq/kg)	^{238}U (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
Beograd ušće Save	Voda	0,44±0,03	0,19±0,04	0,06±0,01	0,021±0,002	< 0,004
	Sediment 1	336±17	23±2	24±2	23±1	2,1±0,1
	Sediment 2	412±21	35±4	35±3	36±2	4,8±0,2
	Sediment 3	339±20	21±2	23±3	22±1	2,8±0,2
Sremska Mitrovica	Voda	0,09±0,02	0,17±0,02	0,03±0,01	<0,018	0,010±0,002
	Sediment 1	446±23	37±5	33±3	33±2	4,0±0,3
	Sediment 2	409±21	27±4	25±3	30±2	2,8±0,2
	Sediment 3	457±19	33±4	35±3	35±2	4,6±0,3
Kupinovo	Voda	0,04±0,01	0,04±0,01	0,06±0,01	0,004±0,001	0,003±0,001
	Sediment 1	460±23	34±3	33±2	37±2	6,1±0,3
	Sediment 2	451±19	31±3	33±3	32±2	4,5±0,2
	Sediment 3	497±26	34±7	35±4	37±2	5,8±0,3



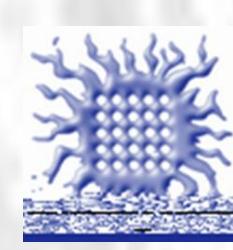
Zaključak:

Na osnovu rezultata merenja prirodne radioaktivnosti u uzorcima vode i sedimenta reke Sava sa navedenih lokacija može se zaključiti da se dobijene vrednosti nalaze u granicama prosečnih vrednosti dobijenih merenjem uzoraka iz drugih reka u Srbiji.

Aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u rečnom sedimentu i vodi su značajno niske i poreklom su od Černobiljskog akcidenta.

RADIOLOŠKA ANALIZA NEKIH VRSTA LEKOVITOG BILJA SA PODRUČJA GUČEVA I PROCENA GODIŠNJE EFEKTIVNE DOZE USLED INGESTIJE

Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Igor ČELIKOVIĆ, Aleksandra SAMOLOV, Tamara MILANOVIĆ, Zorica OBRADOVIĆ, Irina KANDIĆ, Aleksandar KANDIĆ



Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu

Lekovite biljke imaju masovnu primenu bilo u medicinske svrhe ili u pripremi čajeva za svakodnevnu upotrebu. Na nivou Evropske unije (European Medicines Agency) postoje preporuke za koji uzrast u kojoj količini i koliko se određena lekovita biljka može koristiti. Sa druge strane svakodnevna upotreba biljnih čajeva je nešto što je potpuno van regulatorne kontrole i oslanja se samo na preporuke stručnjaka i zbog toga zahteva redovnu kontrolu.

Analizirani uzorci lekovitog bilja potiču sa područja zapadne Srbije (obronci planine Gučeve i okolina grada Loznica). Planina Gučeva (kordinate $44^{\circ}29'21''$ N, $19^{\circ}10'48''$ E) se nalazi u zapadnoj Srbiji i predstavlja najzapadniju planinu podrinjsko-valjevskih planina.

Uzorci devet vrsta lekovitih biljaka prikupljeni su tokom 2022. godine. Svi ispitivani biljni uzorci mereni su u kontakt geometriji pomoću dva koaksijalna HPGe spektrometra: AMETEK-ORTEC GEM 30-70, sa 37% relativne efikasnosti i 1.7 keV rezolucijom za ^{60}Co na 1332.5 keV, i Canberra GKS5019, sa 55% relativne efikasnosti i rezolucijom od 1.96 keV.

Za potrebe analize kao radni standard korišćen je matriks trave u istoj geometriji, dobijen spajkovanjem sa rastvorom odgovarajućih radioniklida (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{51}Cr i ^{210}Pb) nabavljen od CMI (Czech metrology institute).

Godišnja efektivna doza za ingestiju u slučaju svakodnevne konzumacije 200 ml čaja pripremljenog od lekovitog bilja izračunata je na osnovu dobijenih vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklida ^{137}Cs , ^{210}Pb i ^{40}K , korišćenjem sledeće formule:

gde je:

- E_{ing} - godišnja efektivna doza za ingestiju (Sv),
- A_s - specifična aktivnost određenog radionuklida u uzorku (Bq/kg),
- H - količina lekovitog bilja koja se konzumira godišnje (kg),
- C_d - koeficijent rastvorljivosti radionuklida pri pripremanju čaja (0.6 za ^{137}Cs , 0.5 za ^{210}Pb i 0.9 za ^{40}K),
- DF_{ing} - koeficijent efektivne doze za ingestiju (Sv/Bq).

Koeficijenti efektivne doze koji su korišćeni u proračunima su:

- $1.2 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq za ^{137}Cs , $36 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq za ^{210}Pb i $42 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq za ^{40}K – uzrast jedne godine
- $1.3 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq za ^{137}Cs , $6.9 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq za ^{210}Pb i $6.2 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq za ^{40}K – odrasla osoba.



Naziv lekovite biljke	Specifična aktivnost [Bq/kg]			Individualna godišnja efektivna doza					
				Uzrast jedne godine			Odrasla osoba		
	^{137}Cs	^{210}Pb	^{40}K	^{137}Cs [nSv]	^{210}Pb [μSv]	^{40}K [μSv]	^{137}Cs [nSv]	^{210}Pb [μSv]	^{40}K [μSv]
Hajdučka trava	< 0.6	27.6 ± 3.7	504 ± 27	< 3.2	36.3 ± 4.9	13.9 ± 0.7	< 3.4	7.0 ± 0.9	2.1 ± 0.1
Nana	< 0.5	24.0 ± 2.9	630 ± 30	< 3.3	39.4 ± 4.8	21.7 ± 1.0	< 3.6	7.6 ± 0.9	3.2 ± 0.2
Matičnjak	< 0.7	13.2 ± 2.2	700 ± 37	< 4.6	21.7 ± 3.6	24.2 ± 1.3	< 5.0	4.2 ± 0.7	3.6 ± 0.2
Rastavić	< 0.6	31.5 ± 4.9	530 ± 30	< 3.2	41.4 ± 6.4	14.6 ± 0.8	< 3.4	7.9 ± 1.2	2.2 ± 0.1
Zova	< 0.7	33.9 ± 5.5	660 ± 35	< 4.6	55.7 ± 9.0	22.8 ± 1.2	< 5.0	10.7 ± 1.7	3.4 ± 0.2
Lipa	< 0.6	16.2 ± 2.5	350 ± 20	< 4.7	32.0 ± 4.9	14.5 ± 0.8	< 5.1	6.1 ± 0.9	2.1 ± 0.1
Kantarion	< 0.4	31.9 ± 3.8	320 ± 20	< 2.1	41.9 ± 5.0	8.8 ± 0.6	< 2.3	8.0 ± 1.0	1.3 ± 0.1
Majčina dušica	< 0.8	33.8 ± 4.4	460 ± 25	< 6.3	66.7 ± 8.7	19.1 ± 1.0	< 6.8	12.8 ± 1.7	2.8 ± 0.2
Neven	< 0.8	21.9 ± 4.2	700 ± 40	< 6.3	43.2 ± 8.3	29.0 ± 1.7	< 6.8	8.3 ± 1.6	4.3 ± 0.2

Godišnje efektivne doze ingestije za ^{137}Cs , ^{210}Pb i ^{40}K , pri čemu se svakodnevno piye 200 ml čaja pripremljenog od lekovitih biljaka ispitivanih u ovom radu za odraslu osobu ne predstavljaju značajno radijaciono opterećenje. To je zato što su i pojedinci i ukupne vrednosti daleko ispod preporučene granice u okviru naše domaće legislative od 100 μSv . Kada je u pitanju uzrast od jedne godine, a može se reći i dečija populacija u opšte, dobijene vrednosti ne prelaze definisanu granicu, ali joj se kod nekih lekovitih biljaka značajno približavaju. Takav je slučaj kod zove, majčine dušice i nevena gde su ukupne godišnje efektivne doze usled ingestije 78.5 μSv , 85.7 μSv i 72.2 μSv respektivno. Najveći doprinos ovim vrednostima predstavlja koncentracija ^{210}Pb u merenim uzorcima, pa bi stoga trebalo dodatno obratiti pažnju na lokalitete gde su koncentracije olova veće od uobičajenih.

RASPODELA KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA ŽIVOTNE SREDINE KAO POSLEDICA RADA TERMOELEKTRANE “KOLUBARA” U PERIODU 2010 – 2022. GODINE



I. VUKAŠINOVIĆ¹, D. TODOROVIĆ², J. KRNETA NIKOLIĆ², M. RAJČIĆ², M. JANKOVĆ², N. SARAP², J. ŠĆEKIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Katedra za matematiku i fiziku, Nemanjina 6, Zemun-Beograd

² Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za Zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd

SAŽETAK

Jedan od značajnih načina kontrole rada termoelektrana (TE) na ugalj je kontinuirano praćenje vrednosti koncentracija aktivnosti radionuklida prirodnog porekla sadržanih prvenstveno u uglju, a zatim i uzorcima pepela i šljake kao glavnim produkatima sagorevanja uglja koje je neophodno odlagati na deponije otpada. Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K , koje bi u životnoj sredini mogle biti preraspodeljene kao posledica rada TE, podležu redovnoj kontroli u uzorcima uglja, šljake, elektrofilterskog pepela, kao i u uzorcima sakupljenim sa deponija pepela, na aktivnoj i pasivnoj kaseti, i zemljištu uzorkovanom na manjoj i većoj udaljenosti od TE. Predmet ovoga rada je analiza rezultata višegodišnjih merenja obavljenih u periodu od 2010. do 2022. godine. Godišnje vrednosti koncentracija aktivnosti izmerene za svaki ispitivan radionuklid i svaku od sedam vrsta uzoraka posmatrane su kao hronološki nizovi podataka koji čine diskretne vremenske serije za koje su rezultati statističke analize ukazivali da se mogu opisati kao procesi belog šuma.

MATERIJALI I METODE

- Ispitivano je sedam vrsta uzoraka: ugalj (UG), šljaka (ŠLJ), elektrofilterski pepeo (EFP), pepeo sakupljen sa deponije aktivne (AKP) i pasivne kasete (PKP) i zemljište uzorkovano bliže (0 km–2 km) (ZB) i dalje (2 km–6 km) (ZD) od TE.
- Svi uzorci sakupljeni su jednom godišnje u periodu od 2010. do 2022. godine.
- Pripremljeni za analizu (mleveni, sušeni, prosejani, izvagani) uzorci su podvrgnuti gamaspektrometrijskoj analizi u cilindričnoj ili Marineli geometriji.
- Merenja su vršena koaksijalnim poluprovodničkim HPGe detektorima (Canberra Industries, USA) relativne efikasnosti 18 %, 20 % i 50 %.
- Za koncentracije aktivnosti ^{238}U korišćene su linije potomaka u radioaktivnoj ravnoteži ^{234}Th i $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Koncentracija aktivnosti ^{226}Ra određena je na osnovu intenziteta linija iz raspada potomaka ^{214}Pb i ^{214}Bi , a ^{232}Th iz raspada ^{228}Ac .
- Koncentracija aktivnosti ^{40}K određena je analizom fotopika na energiji 1460,83 keV, a ^{210}Pb na energiji 46,54 keV.

REZULTATI

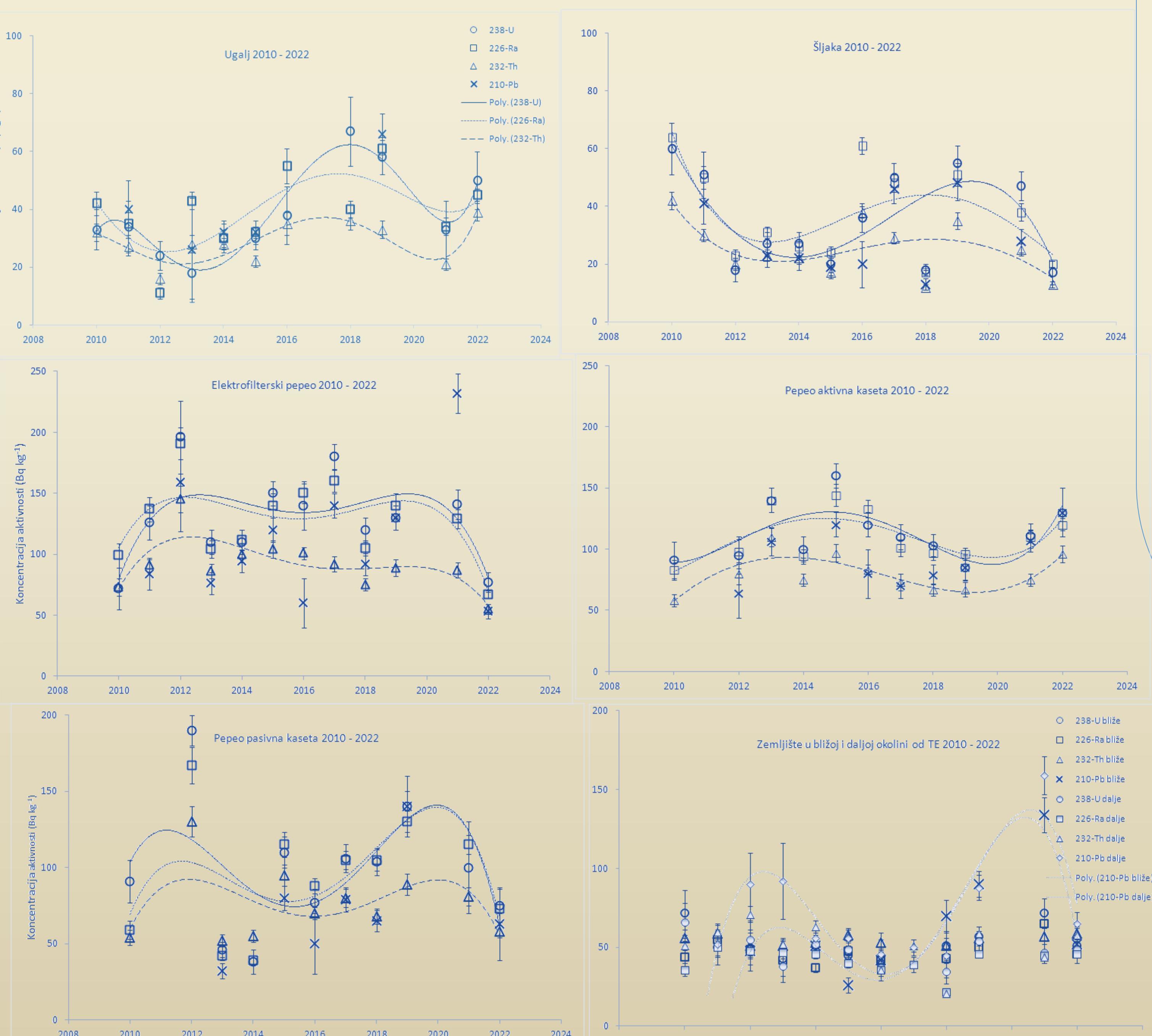
- Intervali i srednje vrednosti koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima uglja i pepela nisu se razlikovale od tipičnih vrednosti navedenih u publikaciji IAEA [1], a u uzorcima zemljišta pripadale su oblasti prosečnog nivoa gama zračenja iz zemljišta na osnovu izveštaja UNSCEAR (2010) [2].
- Prema Šapiro-Vilkovom testu sve grupe podataka pokazale su normalnu distribuciju na nivou značajnosti 95 %.
- Svaki pojedinačni skup vrednosti koncentracija aktivnosti datog radionuklida u datom uzorku izgledao je kao da tokom vremena ima slučajna odstupanja od neke konstantne vrednosti (Slika 1) ukazujući da predstavlja jednu realizaciju stohastičkog procesa zbog čega je posmatran kao diskretna vremenska serija.
- Većina serija mogla se opisati kao proces belog šuma (nezavisne slučajne promenljive nulte srednje vrednosti i konstantne varijanse) na nivou značajnosti 95 %.
- Određivanjem koeficijentata kroskorelacije testirano je da li postoje korelace veze između elemenata dve serije odvojenim k vremenskim koraka (eng. Lag).
- Pozitivni koraci ($k=+1,+2\dots$) — prva serija „prednjači“, a negativni koraci ($k=-1,-2\dots$) — prva serija „zaostaje“ u odnosu na drugu sa vremenskim kašnjenjem k perioda [3].
- Značajne pozitivne kroskorelacije određene su između koncentracija aktivnosti u uglju i zemljištu sa vremenskim otklonom u slučaju ^{238}U (Lag 2, Lag 3), ^{226}Ra (Lag -1) i ^{210}Pb (Lag -1), a između elektrofilterskog pepela i pepela pasivne kasete bez vremenskog otklona (Lag 0) u slučaju ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th i ^{40}K .
- Negativne značajne korelacije određene su između koncentracija aktivnosti u pepelu aktivne i pepelu pasivne kasete za ^{238}U (Lag 1), ^{226}Ra (Lag -1) i ^{232}Th (Lag 1).
- U slučaju ^{232}Th , kroskorelacije su mogle biti određene samo između vrednosti njegovih koncentracija aktivnosti u uglju i pepelu, ali ne i sa vrednostima u zemljištu što je ukazivalo da ponašanje ^{232}Th u zemljištu uopšte nije pod uticajem rada TE.

Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se promene koncentracija aktivnosti u uglju, šljaci i pepelu iz samog procesa proizvodnje potencijalno odražavaju na promene koncentracije aktivnosti u pepelu sa deponija i zemljištu u okolini TE istovremeno ili sa vremenskim kašnjenjem. S obzirom da su se ispitivane vremenske serije mogle predstaviti procesima belog šuma čime je ispunjen uslov slabe stacionarnosti (tj. invarijantnosti na pomeranja u vremenu), u sledećem koraku bi bilo moguće izvršiti (barem kratkoročno) prognoziranje vrednosti koncentracija aktivnosti ispitivanih radionuklida [3].

Reference

- [1] IAEA ,Technical Reports Series No. 419, Vienna, 2003.
- [2] UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2010.
- [3] Z.J. Kovačić, Analiza vremenskih serija, Ekonomski fakultet, Beograd, 1995



Slika 1: Koncentracija aktivnosti (Bq/kg) ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb i ^{232}Th u ispitivanim uzorcima u periodu od 2010–2022. godine. Radi ilustracije kroz karakteristične nizove tačaka provučeni polinomi 4-og reda da bi se uočila promena aktivnosti tokom perioda merenja (2010–2022).

RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ALKALI ACTIVATED MATERIALS CONTAINING WOOD AND FLY ASH

Ljiljana KLJAJEVIĆ¹, Nataša MLADENOVIĆ NIKOLIĆ¹, Aleksandar KANDIĆ², Ivana VUKANAC³, Marija IVANOVIĆ¹, Sanja KNEŽEVIĆ¹, Miljana MIRKOVIĆ¹ and Snežana NENADOVIĆ¹

¹Department for Materials, „VINČA“ Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Department of Nuclear and Plasma Physics, „VINČA“ Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

³Department of Radiation and Environmental Protection, „VINČA“ Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

Improperly storage of fly ash as industrial wastes has been a cause of land contamination issues. This waste or by-product has the potential to be used as secondary raw materials in construction, promoting the concept of a circular economy to avoid land contamination. Here we evaluate radiological environmental impacts when waste, fly ash (FA) and wood ash (WA), that contains elevated levels of naturally occurring radionuclides are made into "green cements" such as geopolymers or alkali-activated materials (AAMs).

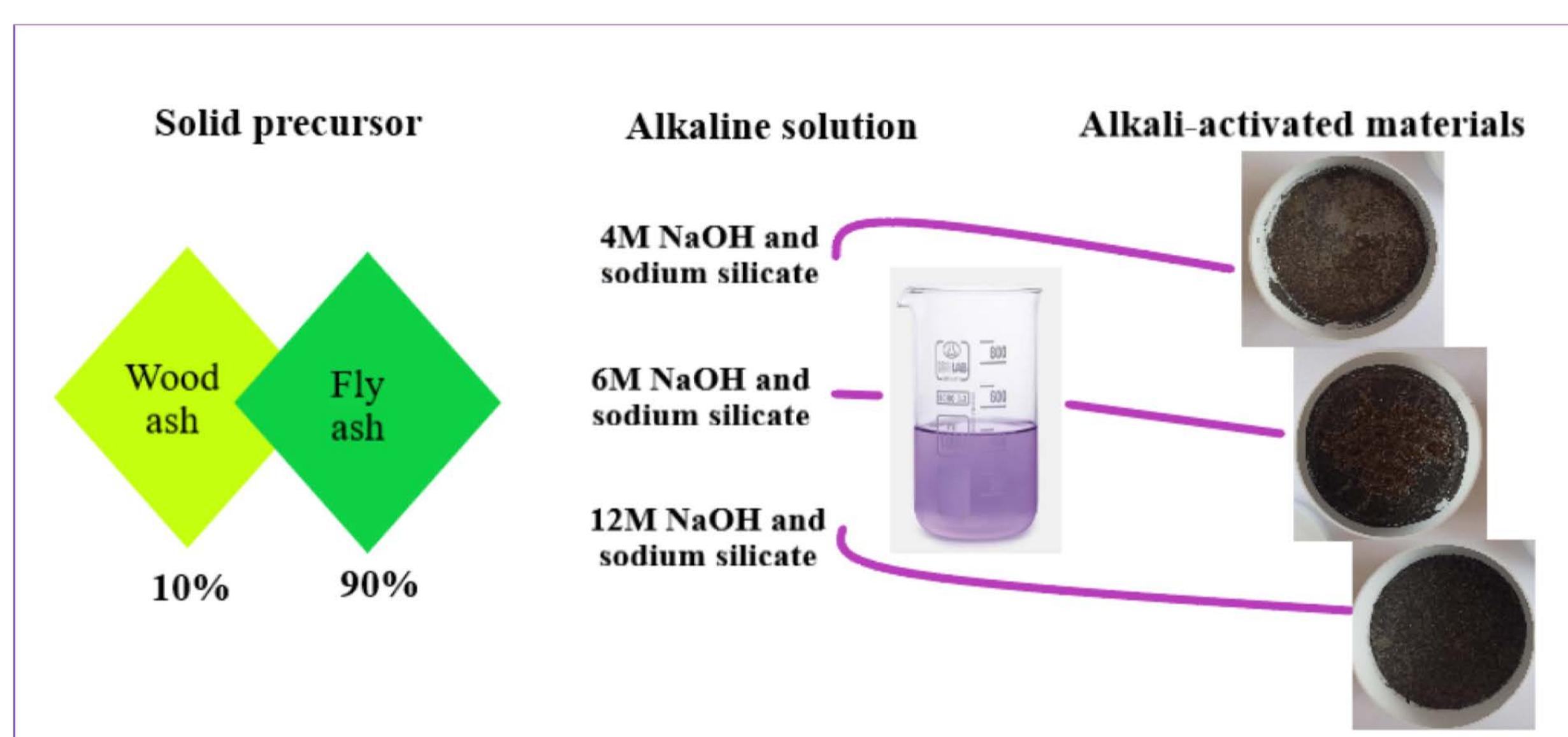


Figure 1. Alkali activation process of fly and wood ash

Materials and methods

For the synthesis of alkali-activated materials, WA and FA from the combustion process were used as solid precursors. AAMs were synthesized by a mixture of FA and WA (the ratio is 9:1), and the alkali activator solutions (mixture of sodium hydroxide (Sigma-Aldrich, st. Louis, MO, USA) and sodium silicate solution (Interhem Company, Belgrade, Serbia)). The solutions of sodium hydroxide were made in three different concentrations (4M, 6M, and 12M). The next AAMs are synthesized: AAM4, AAM6, and AAM12.

Mineralogical, structural, and morphological analysis of the samples was done by X-ray diffraction (XRD), Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT), and Scanning Electron Microscopy (SEM) after twenty-eight days of geopolymerization process. Activity concentration of naturally occurring radionuclides (uranium and thorium series, ⁴⁰K and ²³⁵U) in AAMs was determined by gamma ray spectrometry.

Radiological characterization of alkali-activated materials

Table 1. Activity concentration of alkali-activated materials

Radionuclides	Activity concentration (in Bq/kg)		
	Samples of alkali-activated materials		
	AAM4	AAM6	AAM12
¹³⁷ Cs	3,82±0,37	4,19±0,47	2,80±0,31
²¹⁰ Pb	59,3±3,9	58,6±5,7	37,3±2,6
²³⁵ U	5,07±0,76	4,56±0,93	2,7±0,54
²²⁶ Ra	94,2±8,6	95,9±8,7	63,3±5,8
²³⁸ U	100,4±11	93,4±8,2	63,2±6,7
²³⁵ U/ ²³⁸ U	0,0505	0,0488	0,0427
²³⁴ Th(²²⁸ Ac)	53,1±3,8	55,6±3,8	42,3±2,9
⁴⁰ K	408±21	485±26	332±17

Table 2. Radium equivalent activity (Ra_{eq}), external radiation hazard index (H_{ex}), the external gamma radiation absorbed dose rate (\dot{D}) and effective dose rate (EDR) of alkali-activated wood and fly ash

Samples	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex} (Bq/kg)	\dot{D} (nGy/h)	EDR (mSv/y)
AAM4	201,55	0,544	92,6	0,454
AAM6	212,75	0,575	98,1	0,481
AAM12	149,35	0,403	68,6	0,337

Acknowledgement: The research was funded by the Ministry of Science, Technological Development, and Innovation of the Republic of Serbia, contract number: 451-03-47/2023-01/200017.

Structural characterization of alkali-activated materials

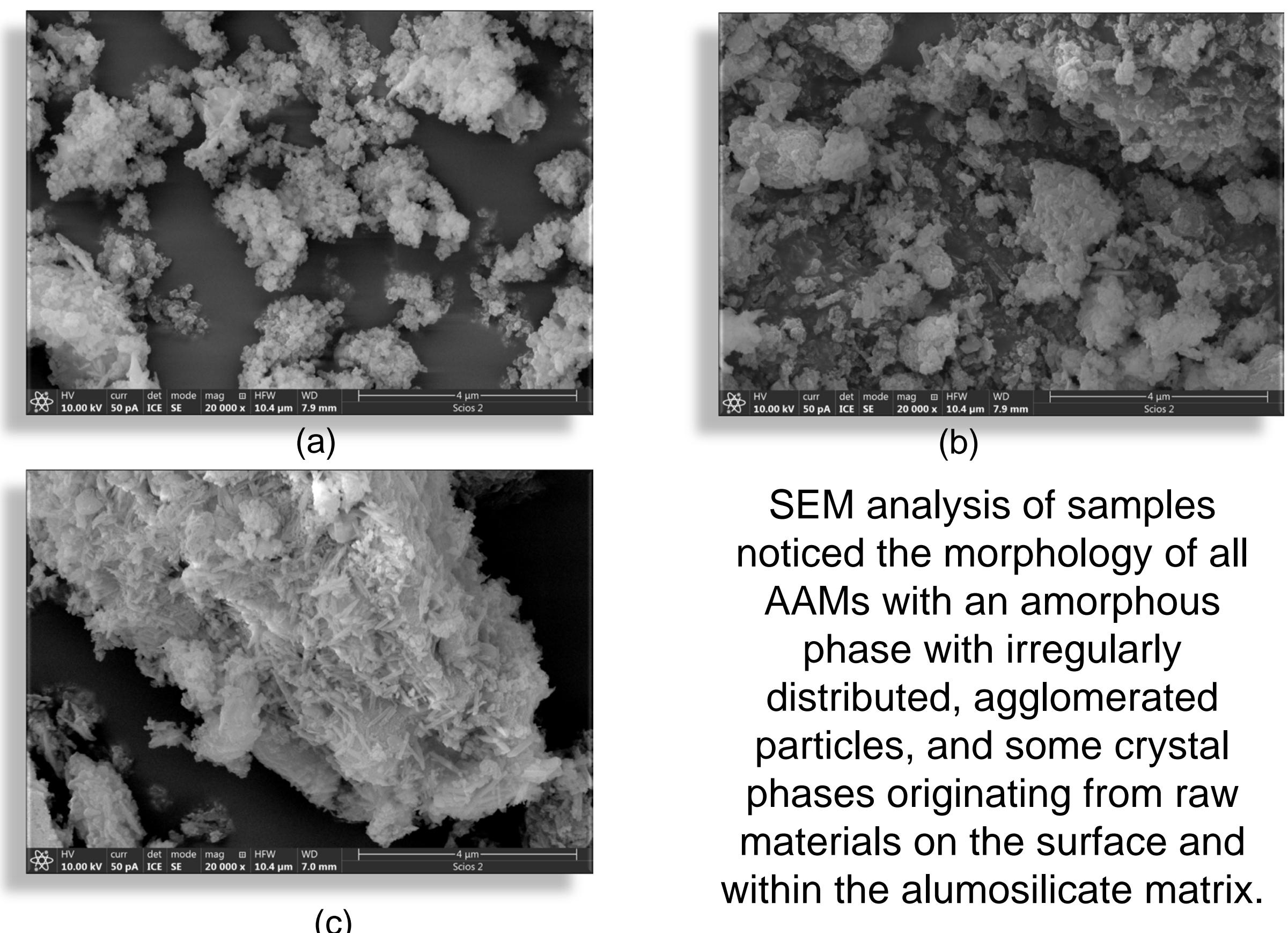


Figure 2. SEM micrographs of alkali-activated samples: a) AAM4, b) AAM6 and c) AAM12

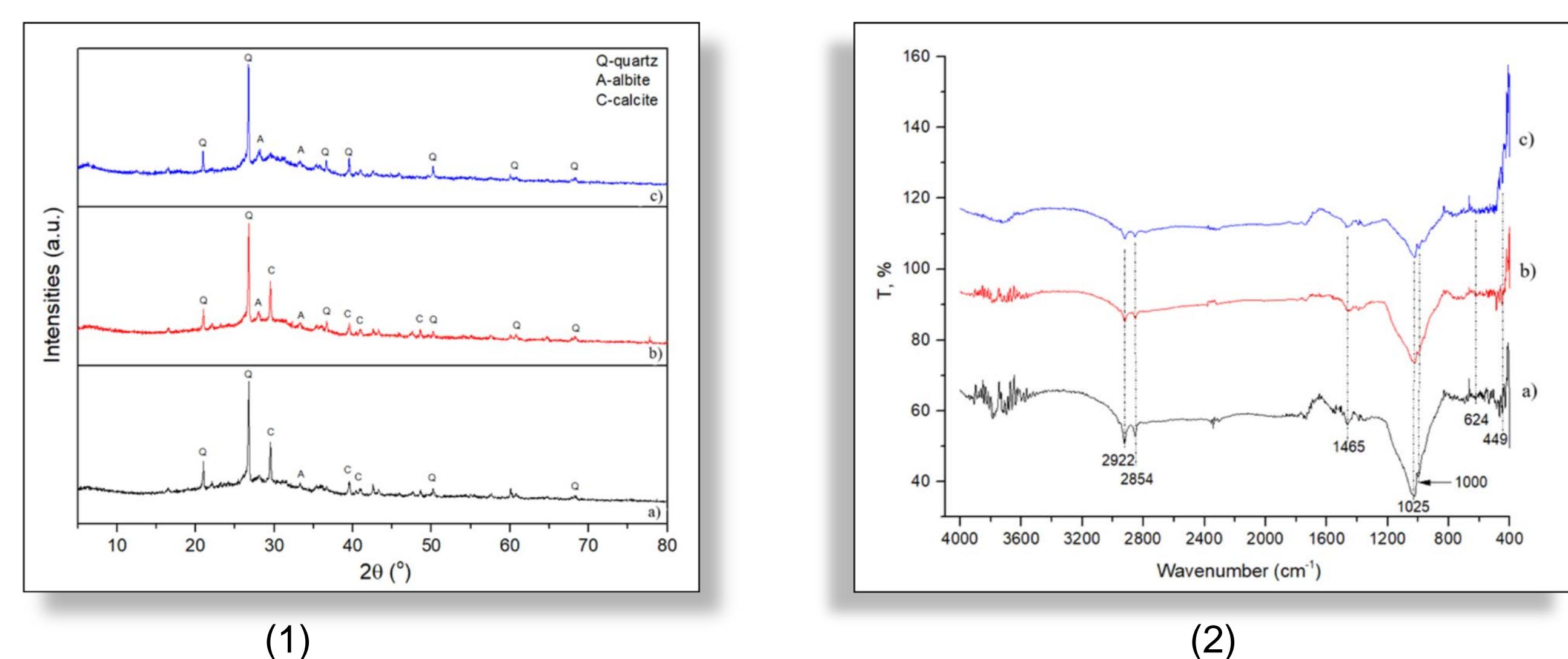
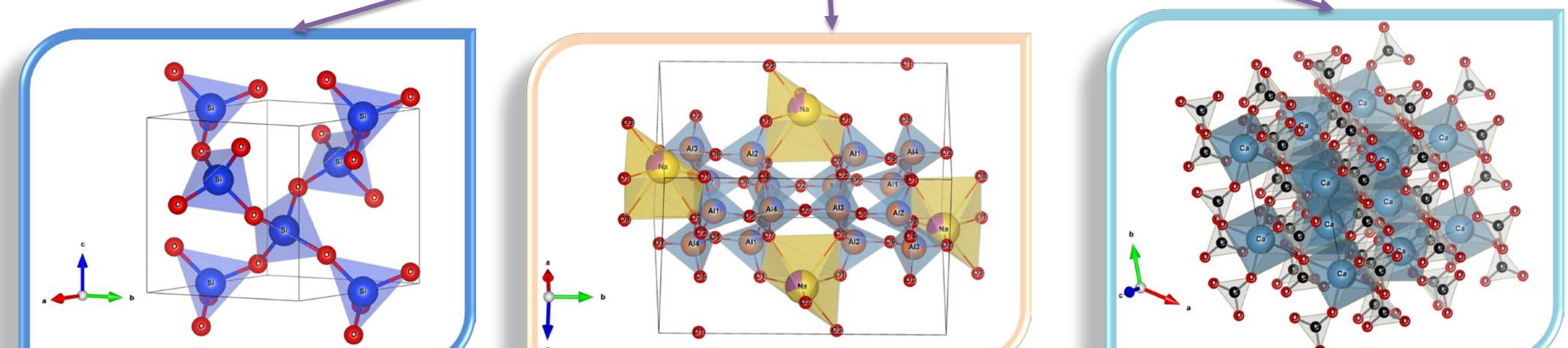


Figure 3. XRD (1) and DRIFT (2) analysis of AAMs of a) AAM4 b) AAM6 c) AAM12

The crystal phases of quartz, albite and calcite are identified by XRD analysis [1, 2] beside the amorphous phase of AAMs.

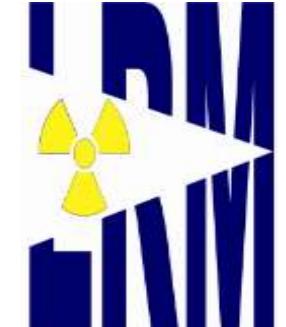


Vibration band at ~3000-3800 cm⁻¹ and ~1650 cm⁻¹ -stretching and deformation vibration of OH and H-O-H groups, respectively. DRIFT spectra of all samples show a vibration band around 1050-995 cm⁻¹ which are associated with Si-O-T (T=Si or Al) asymmetric stretching vibrations [3]. Bands at 1470-1460 cm⁻¹ and 2340-2390 cm⁻¹ are associated with carbonation products. The bands between 1200 cm⁻¹ and 900 cm⁻¹ are associated with Si-O-Si asymmetric vibration and Al-O-Si symmetric bending vibration, respectively [4].

References:

- [1] Rigaku. PDXL Integrated X-Ray Powder Diffraction Software; Rigaku: Tokyo, Japan, 2011.
- [2] International Crystallographic Database (ICDD); PSDS: Newtown Township, PA, USA, 2012.
- [3] Fernandez-Jimenez, A.; Palomo, A. Mid-infrared spectroscopic studies of alkaline activated fly ash structure. Micropor. Mesopor. Mater. 2005, 86, 207–214.
- [4] Kosor, T.; Nakic-Alfirević, B.; Svilović, S. Geopolymer depolymerization index. Vib. Spectrosc. 2016, 86, 143–148.

POTENCIJALNI ODNOS IZMEĐU KONCENTRACIJE TRICIJUMA U KIŠNICI I REKAMA



Marija JANKOVIĆ, Nataša SARAP, Jelena KRNETA NIKOLIĆ, Milica RAJAČIĆ, Ivana VUKANAC, Ivana JELIĆ, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11001 Vinča, Beograd, Srbija, marijam@vinca.rs

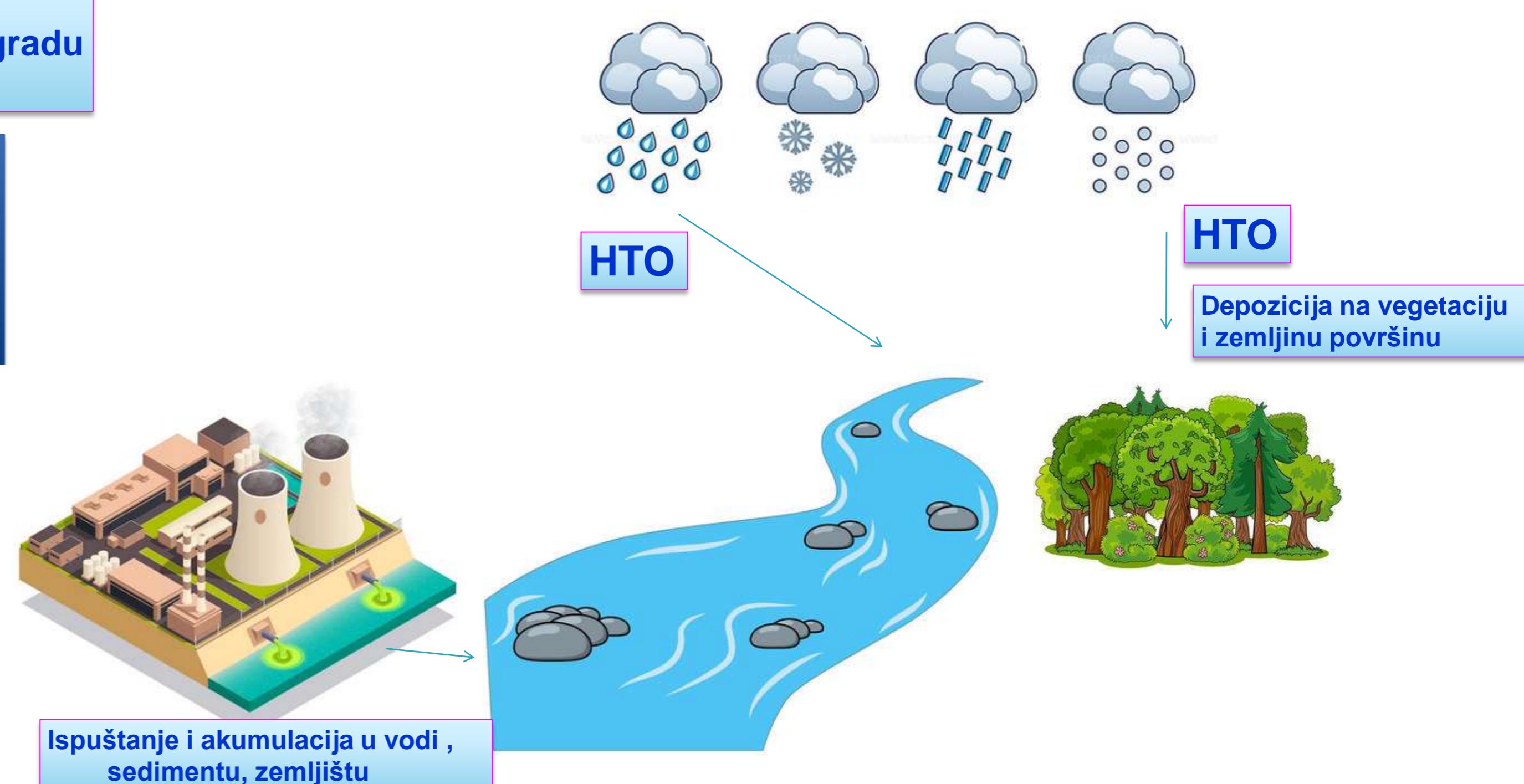
- Koncentracija tricijuma u kišnici u Beogradu
- Koncentracija tricijuma u Savi i Dunavu u Beogradu
- Njihov potencijalni odnos

Tricijum, radioaktivni izotop vodonika, sa vremenom poluraspada od 12,32 godine, prirodno nastaje u reakciji neutrona iz kosmičkog zračenja sa molekulima azota u gornjim slojevima atmosfere.

Veštački stvoren tricijum nastao je prilikom nuklearnih proba u periodu 1945-1980. Nuklearne probe dovele su do ispuštanja tricijuma u atmosferu u obliku tritiranog vodonika HTO i metil tricijumskog gasa CH_3T , pri čemu dolazi do brze oksidacije i pretvaranja u tritiranu vodu (HTO).

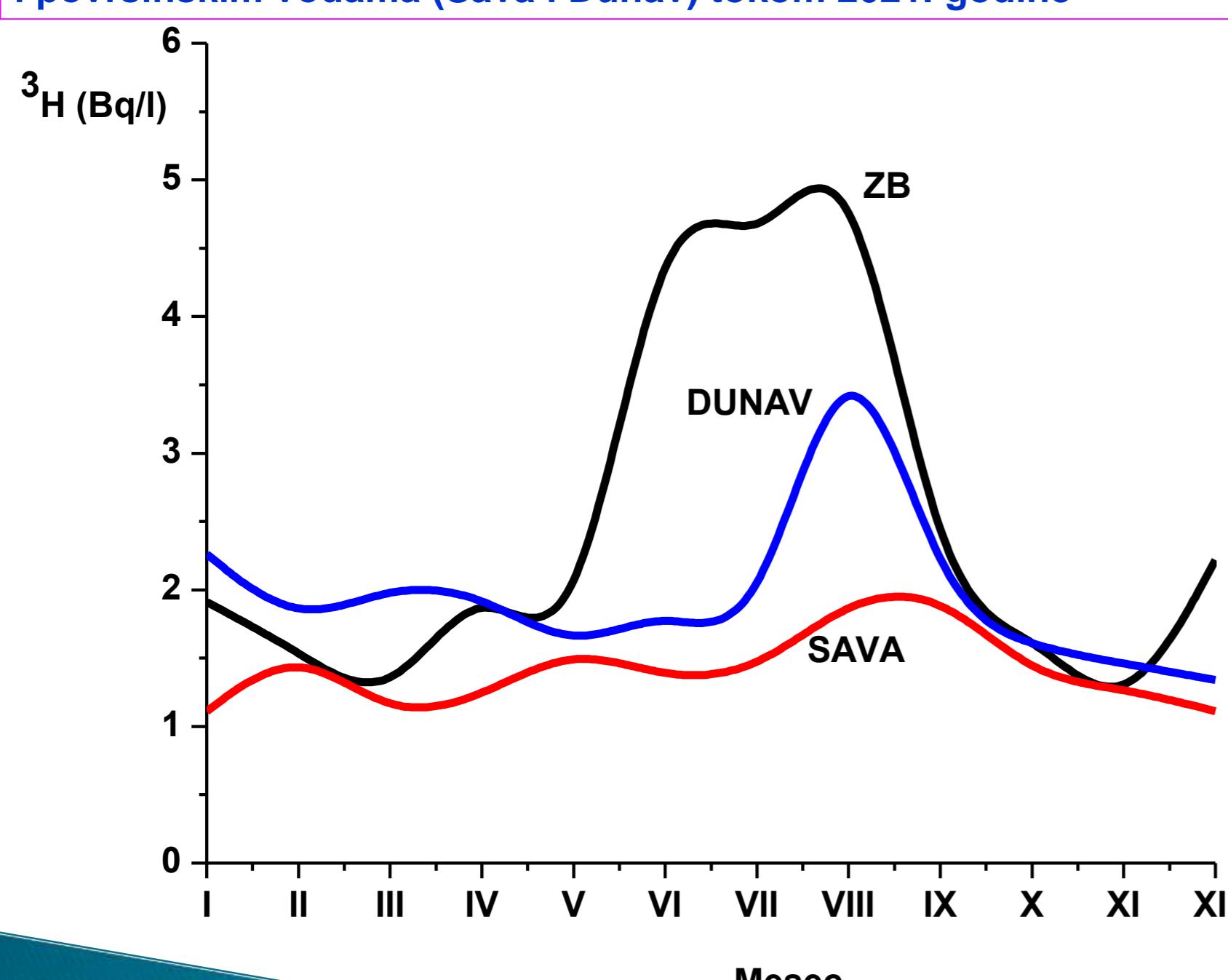
Izotopski sastav padavina prati se više od 50 godina širom sveta kroz globalnu mrežu izotopa u padavinama (GNIP - Global Network of Isotopes in Precipitation), oformljenu od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA - International Atomic Energy Agency) i Svetske Meteorološke Organizacije (WMO - World Meteorological Organization), kao i pojedinačnih institucija.

Globalna mreža izotopa u rekama (GNIR - Global Network of Isotopes in Rivers) pokrenuta je u periodu 2002-2005. kao deo Programa za vodene resurse IAEA u okviru pilot projekta. Fokusirana je na stabilne izotope i sadržaj tricijuma u različitim slivovima svetskih reka. Cilj GNIR programa je prikupljanje i širenje vremenskih serija o podacima za izotopske sastave svetskih reka, kao i diseminacija ka širokim naučnim disciplinama, uključujući hidrologiju, meteorologiju i klimatologiju, oceanografiju, limnologiju i vodenu ekologiju.

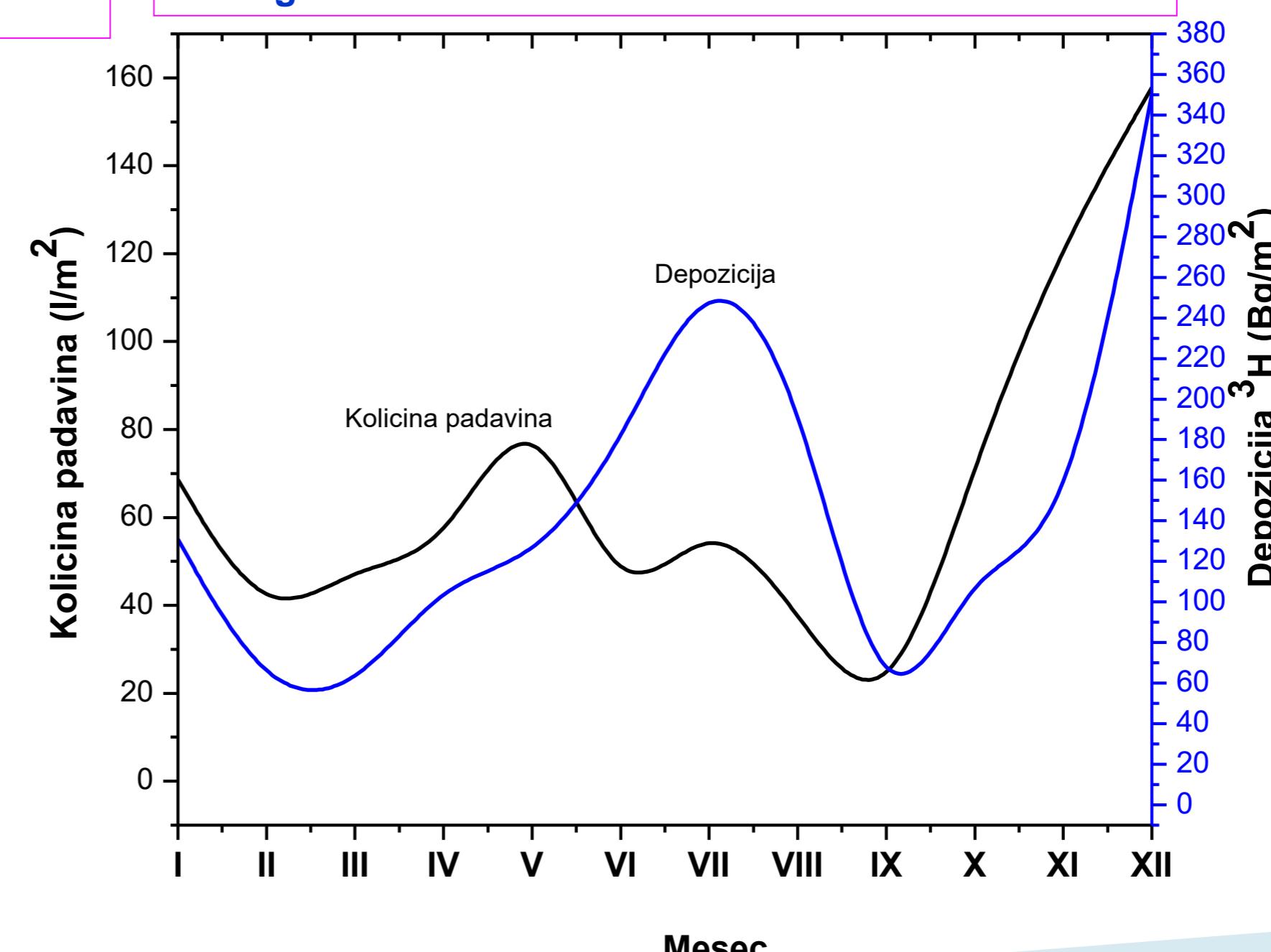


REZULTATI

Slika 1: Mesečne koncentracije tricijuma u padavinama (lokacija Zeleno Brdo) i površinskim vodama (Sava i Dunav) tokom 2021. godine



Slika 2: Količina padavina na meteorološkoj stanici Opservatorija (Beograd) i depozicija tricijuma tokom 2021. godine



DOBIJENI REZULTATI I ZAKLJUČAK

- Koncentracija tricijuma u kišnici bila je u opsegu od $0,98 \pm 0,23 \text{ Bq/l}$ (novembar) do $5,59 \pm 0,47 \text{ Bq/l}$ (avgust).
- U uzorcima površinske vode Save, koncentracija tricijuma je bila u opsegu od $1,05 \pm 0,25 \text{ Bq/l}$ (mart) do $2,00 \pm 0,30 \text{ Bq/l}$ (septembar), dok su vrednosti za Dunav bile u opsegu od $1,34 \pm 0,26 \text{ Bq/l}$ (decembar) do $4,27 \pm 0,41 \text{ Bq/l}$ (avgust).
- Tokom prolećnih i letnjih meseci, dobijene koncentracije u kišnici su znatno više u odnosu na koncentraciju tricijuma u površinskoj vodi, te je izražen sezonski efekat. Tokom prolećnih meseci dolazi do povećane koncentracije tricijuma u troposferi na severnoj hemisferi. Ovaj mehanizam se objašnjava razmenom troposferskih i stratosferskih vazdušnih masa koja se javlja pretežno tokom kasne zime i proleća. Dobijene vrednosti tricijuma u kišnici ukazuju na normalne sezonske varijacije, što je posledica stratosferskog porekla ovog radionuklida.
- Za ispitivani period, odnos koncentracija tricijuma u kišnici i u Savi i Dunavu je blizu 1, što ukazuje da nije došlo do lokalnog ispuštanja tricijuma.
- Na osnovu meteoroloških i hidroloških parametara, procenjena je depozicija tricijuma (od $17,3 \text{ Bq/m}^2$ (septembar) do $350,3 \text{ Bq/m}^2$ (decembar)) i vrednost prosečnih tokova tricijuma u rekama za 2021. godinu ($0,0647 \text{ PBq/god}$ za Savu i $0,157 \text{ PBq/god}$ za Dunav).

ANALIZA TRENDA PROMENE UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI U POLJOPRIVREDNOM EKOSISTEMU

Nataša Sarap, Marija Janković, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Ivana Vukanac, Vojislav Stanić, Ivana Jelić

Institut za nuklearne nauke "Vinča" - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,
Laboratorijska zaštita od zračenja i zaštita životne sredine, Beograd, Srbija

Sažetak

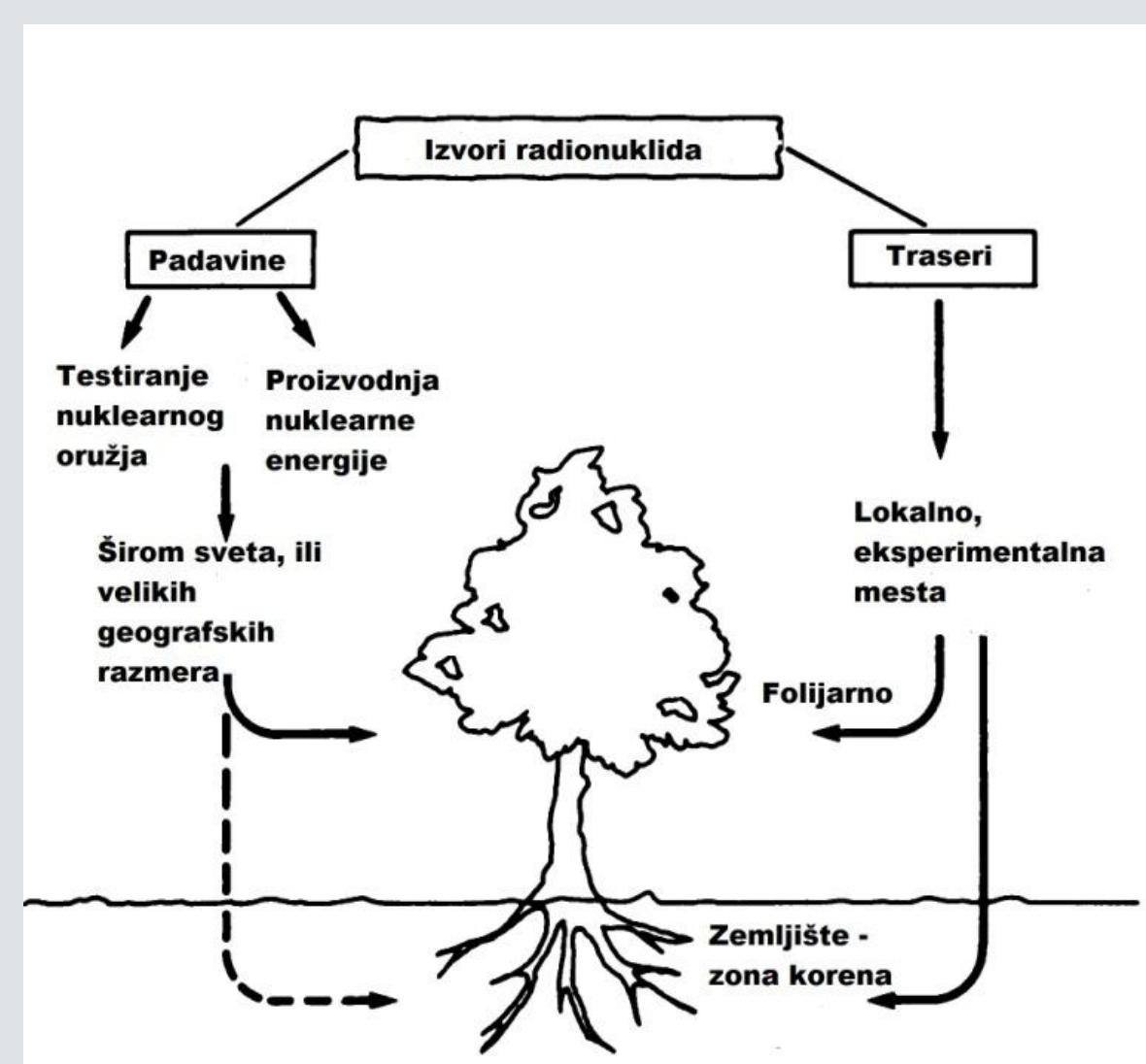
Sprovedeno istraživanje je usmereno na analizu trenda promene ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u poljoprivrednom zemljištu i usevima višegodišnjeg oglednog polja. Analiza je urađena primenom akreditovane metode za određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u čvrstim matriksima. Merenja su obavljena u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke "Vinča" na niskofonskom gasnom proporcionalnom brojaču Thermo Eberline FHT 770T. Izmerene vrednosti ukupne alfa aktivnosti variraju od 158 Bq/kg do 324 Bq/kg i ukupne beta aktivnosti od 600 Bq/kg do 1324 Bq/kg za uzorke zemljišta. Za uzorke biljnih kultura vrednosti ukupne alfa aktivnosti su u intervalu od 5 Bq/kg do 167 Bq/kg suve materije, dok su vrednosti ukupne beta aktivnosti u intervalu od 180 Bq/kg do 584 Bq/kg suve materije. Rezultati istraživanja su značajni, jer daju osnovne radiološke informacije o vitalnog značaja za ispitivano područje. Ovo je prvi pokušaj generisanja osnovnih podataka o radijacionom opterećenju zemljišta i biljnih kultura poljoprivrednog ekosistema alfa i beta emiterima, koji su određeni skrining metodom za monitoring životnog okruženja.

Uvod

Ispitivanje radioaktivnosti u životnoj sredini je neophodno sprovoditi radi procene izloženosti stanovništva jonizujućem zračenju. Sadržaj radionuklida u uzorcima iz životne sredine se određuje koristeći metode: određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti, gamaspektrometrije, radiohemisko-analitičke, i druge. Metoda određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti se pokazala korisnom kao skrining metoda za brzu procenu nivoa kontaminacije radionuklidima. Sprovedeno istraživanje je obuhvatilo analizu ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u poljoprivrednom ekosistemu, jer je proizvodnja zdrave i bezbedne hrane jedan od najvažnijih izazova s kojim se suočava moderna poljoprivreda, uz istovremeno smanjenje negativnih uticaja poljoprivrede na životnu sredinu. Ovi uticaji uključuju zagađenje svih medijuma životne sredine, što je naročito izazvano prekomernom upotrebo mineralnih đubriva koja sadrže odgovarajuću količinu radionuklida.

Eksperimentalni deo

Slika 1. Putevi kontaminacije i usvajanje radionuklida od strane vegetacije



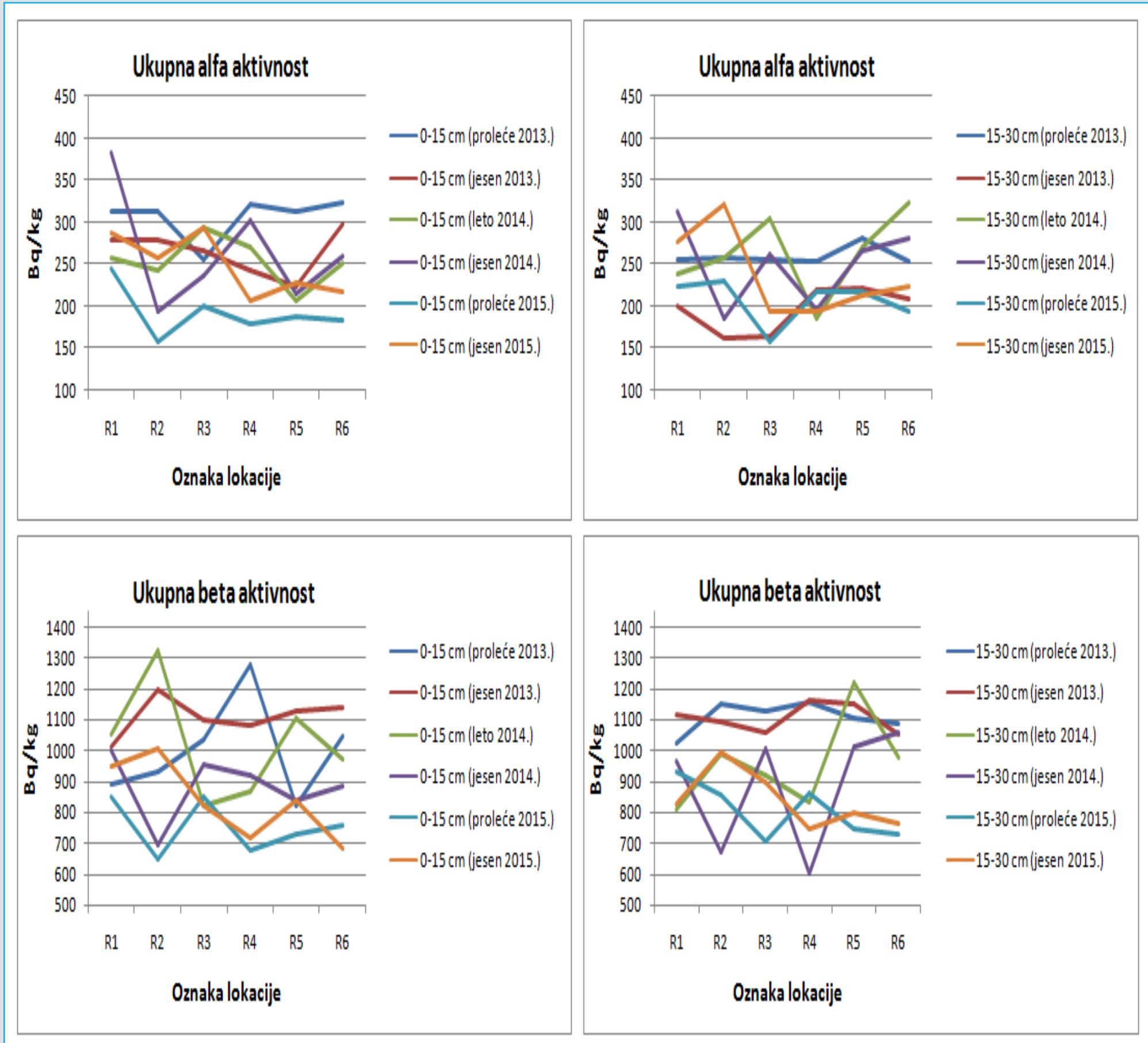
Istraživanje obuhvata lokalitet oglednog polja Radmilovac u Beogradu (Republika Srbija). Uzorkovanje obradivog zemljišta i useva je izvršeno u periodu od 2013. do 2015. godine, i to: zemljište dva puta godišnje u proleće/leto i jesen, dok su usevi uzorkovani jednom godišnje u sezoni proleće/leto, zavisno od vrste useva i u fazi pune zrelosti. Zemljište mase oko 2,5 kg je uzorkovano u dva sloja na dubini (0-15) cm i (15-30) cm, pomoću ašova i sonde od nerđajućeg čelika. Uzorci biljnog materijala su uzorkovani u celini, mase oko 2 kg. Priprema uzorka zemljišta uključuje: uklanjanje mehaničkih nečistoća i sitnjenje prstima, sušenje u sušnici na 105 °C tokom 24 h, mehaničko usitnjavanje u mlinu za mlevenje uzoraka, zatim i u avanu sa tučkom i na kraju prosejavanje kroz sito od nerđajućeg čelika (veličine pora 250 µm), čime su uzorci homogenizovani do praha. Priprema uzorka biljnog materijala uključuje: odstranjivanje ostataka zemljišta iz korenovog sistema pod mlazom tekuće vode posle čega se vrši ispiranje destilovanom vodom, seckanje biljne mase na sitnije delove, sušenje na vazduhu i sobnoj temperaturi minimalno tri nedelje, mineralizaciju u laboratorijskoj peći za žarenje na 450 °C tokom 24 h metodom suvog spaljivanja i homogenizaciju mineralnog ostatka.

Analiza uzorka se vrši primenom MARLAP akreditovane metode za određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u čvrstim matriksima. Za analizu ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti koristi se oko 130 mg uzorka zemljišta ili biljnog materijala, pripremljenih na prethodno opisani način. Uzorci se fiksiraju i mere u planšetama od nerđajućeg čelika, prečnika 59 mm, na niskofonskom gasnom proporcionalnom brojaču Thermo Eberline FHT 770T. Vreme merenja uzorka je 14400 s u tri serije merenja.

Rezultati i diskusija

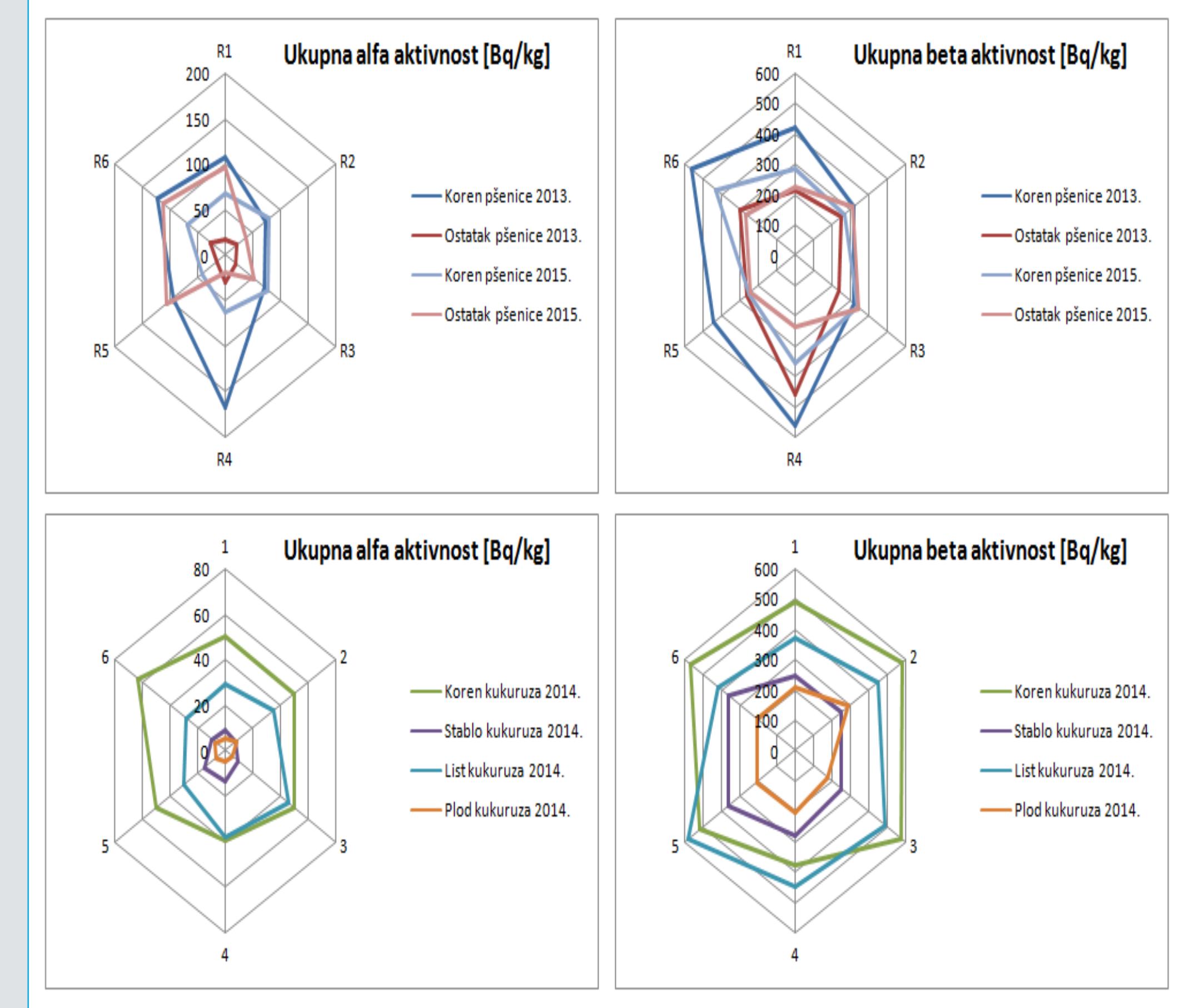
Istraživanje uključuje dva poljoprivredna sistema: sistem organske poljoprivrede (lokacije R1-R3), koji se bazira na visokom poštovanju ekoloških principa i sistem održive poljoprivrede (lokacije R4-R6), koji predstavlja noviji sistem poljoprivredne proizvodnje uveden zbog očuvanja životne sredine kroz favorizovanje očuvanja biodiverziteta.

Analiza trenda promene ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u poljoprivrednom zemljištu višegodišnjih oglednih parcela je ukazala na to da ukoliko se posmatraju srednje vrednosti ukupne beta aktivnosti po profilima oraničnog horizonta, varijanti poljoprivrednog sistema i godinama ispitivanja, zaključuje se da ove vrednosti opadaju sa godinama ispitivanja, dok za ukupnu alfa aktivnost to nije slučaj. Rezultati ispitivanja su pokazali i da su srednje vrednosti ukupne alfa aktivnosti za oba profila oraničnog horizonta niže u sistemu održive poljoprivrede.



Slika 2. Ukupna alfa i ukupna beta aktivnost za dva profila oraničnog horizonta zemljišta tipa izluženi černozem

Izmerene vrednosti ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u pšenici ukazuju na to da se najveći deo aktivnosti zadržava u korenu biljke, kao i da alternativna vrsta ozime pšenice apsorbuje manje alfa i beta emitera od obične meke pšenice. Izmerene vrednosti ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u kukuruzu ukazuju na to da se najveći deo aktivnosti zadržava u vegetativnim organima biljke sa preraspodelom: koren > list > stablo, dok su najniže vrednosti detektovane u plodu, kao generativnom organu biljke.



Slika 3. Ukupna alfa i ukupna beta aktivnost u usevima dvopoljnog plodoreda sa vremenskom smenom za dve tehnologije gajenja



AKUMULACIJA RADIONUKLIDA IZ ZEMLJIŠTA U PLODOVIMA LEŠNIKA

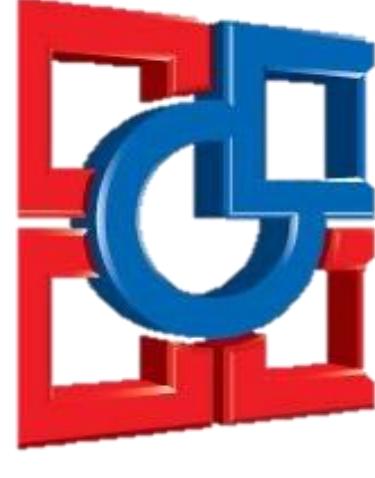
Predrag KUZMANOVIĆ^{1,2}, Jan HANSMAN¹, Danijel VELIMIROVIĆ¹, Dušan MRĐA¹,

Sofija FORKAPIĆ¹, Jovana KNEŽEVIĆ³, Jovana KNEŽEVIĆ RADIĆ¹

1) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

2) Akademija strukovnih studija Šabac, Odsek za medicinske i poslovno-tehnološke studije, Laboratorija za fiziku, Hajduk Veljkova 10, Šabac

3) Javno preduzeće Nuklerni objekti Srbije, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd, Vinča



e-mail: predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs

UVOD

Radionuklidi prirodnog porekla su široko rasprostranjeni u hrani u različitim koncentracijama zbog neujednačenih pozadinskih nivoa radioaktivnosti, klime i poljoprivrednih uslova koji preovlađuju u određenom području. Izvori unutrašnjeg izlaganja zračenju u namirnicama nastaju uglavnom gama zračenjem od prirodnih radionuklida serije U-238 i Th-232, kao i K-40. Takođe u ekosistemima mnogo godina nakon nesreće u Černobilu zaostala je određena koncentracija veštačkog radionuklida Cs-137 koji se takođe može naći u hrani u trgovima.

U toku kultivacije, dodavanjem veštačkih đubriva i vode dolazi do promene nivoa njihove koncentracije aktivnosti u površinskom zemljишtu. Usevi su obično direktno ili indirektno kontaminirani prirodnim i veštačkim radionuklidima. Taloženje radionuklida na nadzemne delove biljaka dovodi do direktne kontaminacije, dok je indirektna kontaminacija posledica apsorpcije radionuklida iz zemljишta od strane korenovog sistema biljaka.

Od ukupne prosečne godišnje efektivne doze (2,4 mSv/y), 0,29 mSv/y čovek uneše ingestijom putem hrane i vode, od čega je procenjeno da radionuklidi serije U-238 i Th-232 doprinose sa 0,12 mSv/y, a radionuklid K-40 sa 0,17 mSv/y.

Cilj ovog rada je ispitivanje sadržaja radioaktivnih elemenata (U-238, Ra-226, Th-232, K-40 i Cs-137) u uzorcima lešnika i okolnom zemljишtu i procena transfer faktora (TF) kako bi se odredio nivo akumulacije radionuklida u ovom voću iz zemljишta. Takođe, cilj je i procena radijacionog rizika od konzumiranja ovog voća tokom godine u smislu godišnjih efektivnih doza.

MATERIJAL I METODE

U ovom radu analizirani su uzorci jezgra lešnika sa privatnog gazdinstva u Šapcu, Zapadna Srbija. Svi pripremljeni uzorci su mereni metodom gama spektrometrije. Uzorci su analizirani IAEA TRS 295 metodom.

Na osnovu izmerenih vrednosti radionuklida u lešniku i okolnom zemljишtu određene su vrednosti transfer faktora (TF).

$$TF = \frac{A_{\text{lešnika}} (\text{Bq kg}^{-1})}{A_{\text{zemljишta}} (\text{Bq kg}^{-1})}$$



Godišnje efektivne doze zbog unosa radionuklida putem hrane mogu se izračunati na osnovu relacije:

$$E = A_c \cdot I_R \cdot D_F$$

REZULTATI I DISKUSIJA

Tabela 1: Izmerene vrednosti koncentracija aktivnosti analiziranih radionuklida u uzorcima jezgra lešnika i okolnog zemljишta (0-20 cm).

Oznaka uzorka	Koncentracija aktivnosti (Bq kg^{-1})				
	U-238	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Jezgro lešnika					
L1K	2,6 ± 0,5	2,9 ± 0,5	1,1 ± 0,3	286 ± 15	< 1,5
L2K	3,0 ± 0,3	2,8 ± 0,4	3,2 ± 0,6	265 ± 18	< 3,0
L3K	1,5 ± 0,2	2,4 ± 0,5	2,3 ± 0,5	305 ± 12	< 1,8
L4K	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,8 ± 0,2	235 ± 12	< 1,3
L5K	1,1 ± 0,3	1,5 ± 0,3	1,1 ± 0,3	246 ± 11	< 1,9
L6K	2,5 ± 0,4	2,7 ± 0,5	2,0 ± 0,6	287 ± 15	< 2,5
Raspon	0,5 - 3,0	0,4 - 2,9	0,8 - 3,2	235 - 305	< 1,3 - < 3,0
Prosek	1,9	2,1	1,8	271	< 2,0
Zemljишte					
L1	34,5 ± 1,1	35,2 ± 0,7	37,6 ± 1,4	489 ± 12	4,10 ± 0,23
L2	41,3 ± 1,6	40,8 ± 0,8	43,5 ± 1,6	547 ± 12	4,93 ± 0,20
L3	36 ± 4	39,1 ± 0,8	41,2 ± 1,6	551 ± 13	5,4 ± 0,4
L4	38,1 ± 2,1	42,5 ± 1,2	39,2 ± 2,2	554 ± 15	4,2 ± 0,3
L5	38,9 ± 1,5	37,7 ± 0,9	41,7 ± 1,6	556 ± 13	5,36 ± 0,27
L6	37,1 ± 2,2	36,8 ± 0,9	39,5 ± 1,5	536 ± 13	4,7 ± 0,4
Raspon	34,5 - 41,3	35,2 - 42,5	37,6 - 43,5	489 - 556	4,1 - 5,4
Prosek	37,7	38,7	40,5	539	4,8
Prosečna vrednost u svetu	33	32	45	420	-

Tabela 2: Poređenje izmerenih koncentracija aktivnosti radionuklida u hrani poreklom iz drugih zemalja u svetu i lešniku iz Srbije.

Hrana	Zemlja porekla	Koncentracija aktivnosti (Bq kg^{-1})					Referenca
		U-238	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	
Pšenica (zrno)	Jordan	-	MDC - 92 (12)	< MDC	140 - 382 (220)	< MDC	[1]
Lešnik (jezgro)	Turska	-	MDC - 19 (7)	MDC - 25 (8)	MDC - 298 (136)	MDC - 6 (2)	[4]
Govedje meso	Turska	-	(2,93)	(4,24)	(207)	-	[7]
Pšenica	Turska	-	(16,84)	(29,93)	(294)	-	[7]
Ovas	Turska	-	(34,33)	(20,08)	(202)	-	[7]
Ječam	Turska	-	(15,79)	(19,62)	(235)	-	[7]
Sir	Turska	-	(11,66)	(18,12)	(169)	-	[7]
Beli hleb	Turska	-	(15,71)	(21,78)	(196)	-	[7]
Manioka-brasno	Nigerija	6,9 - 32,5 (19,3)	-	6,5 - 18,4 (11,4)	207 - 693 (427)	-	[18]
Jam-brasno	Nigerija	4,8 - 8,1 (6,3)	-	7,8 - 9,0 (8,4)	207 - 244 (227)	-	[18]
Taro-brasno	Nigerija	6,1 - 9,7 (7,5)	-	5,6 - 8,2 (7,1)	142 - 248 (196)	-	[18]
Voće	Indija	1,5 - 10,60 (5,30)	3,60 - 7,20 (5,06)	0,10 - 2,00 (0,80)	3 - 111 (44)	0,03 - 0,70 (0,35)	[19]
Lešnik	Srbija	0,5 - 3,0 (1,9)	0,4 - 2,9 (2,1)	0,8 - 3,2 (1,8)	235 - 305 (271)	< 1,3 - < 3,0 (< 2,0)	Ovaj rad

- raspon; (srednja vrednost)

Tabela 3: Vrednosti transfer faktora (TF) za analizirane radionuklide.

Oznaka uzorka	TF_U	TF_{Ra}	TF_{Th}	TF_K	TF_{Cs}
L1K	0,075	0,082	0,029	0,58	< 0,37
L2K	0,073	0,069	0,074	0,48	< 0,61
L3K	0,039	0,056	0,059	0,55	< 0,43
L4K	0,014	0,010	0,019	0,43	< 0,24
L5K	0,028	0,040	0,026	0,44	< 0,35
L6K	0,067	0,073	0,051	0,54	< 0,53
Raspon	0,014 - 0,075	0,010 - 0,082	0,019 - 0,074	0,43 - 0,58	< 0,24 - < 0,61
Prosek	0,049	0,055	0,043	0,50	< 0,42

Tabela 4: Vrednosti godišnjih efektivnih doza (E) od pojedinačnih radionuklida i vrednosti ukupne godišnje efektive doze (E_{uk}).

Oznaka uzorka	$E(\text{nSv y}^{-1})$					$E_{uk} (\text{mSv y}^{-1})$
	U-238	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	
L1K	114 ± 22	81 ± 14	242 ± 66	1773 ± 93	< 19,5	2,23 ± 0,12
L2K	132 ± 13	78 ± 11	704 ± 132	1643 ± 112	< 39,0	2,60 ± 0,17
L3K	66 ± 9	67 ± 14	506 ± 110	1891 ± 74	< 23,4	2,55 ± 0,13
L4K	22 ± 9	11,2 ± 5,6	176 ± 44	1457 ± 74	< 16,9	1,68 ± 0,09
L5K	48 ± 13	42,0 ± 8,4	242 ± 66	1525 ± 68	< 24,7	1

REZULTATI MERENJA PRIVATNE MERNE STANICE U POŽAREVCU ZA KONTINUALNO MERENJE AMBIJENTALNOG EKVIVALENTA DOZE ZA 2021. I 2022. GODINU



Društvo za zaštitu od zračenja
Srbije i Crne Gore

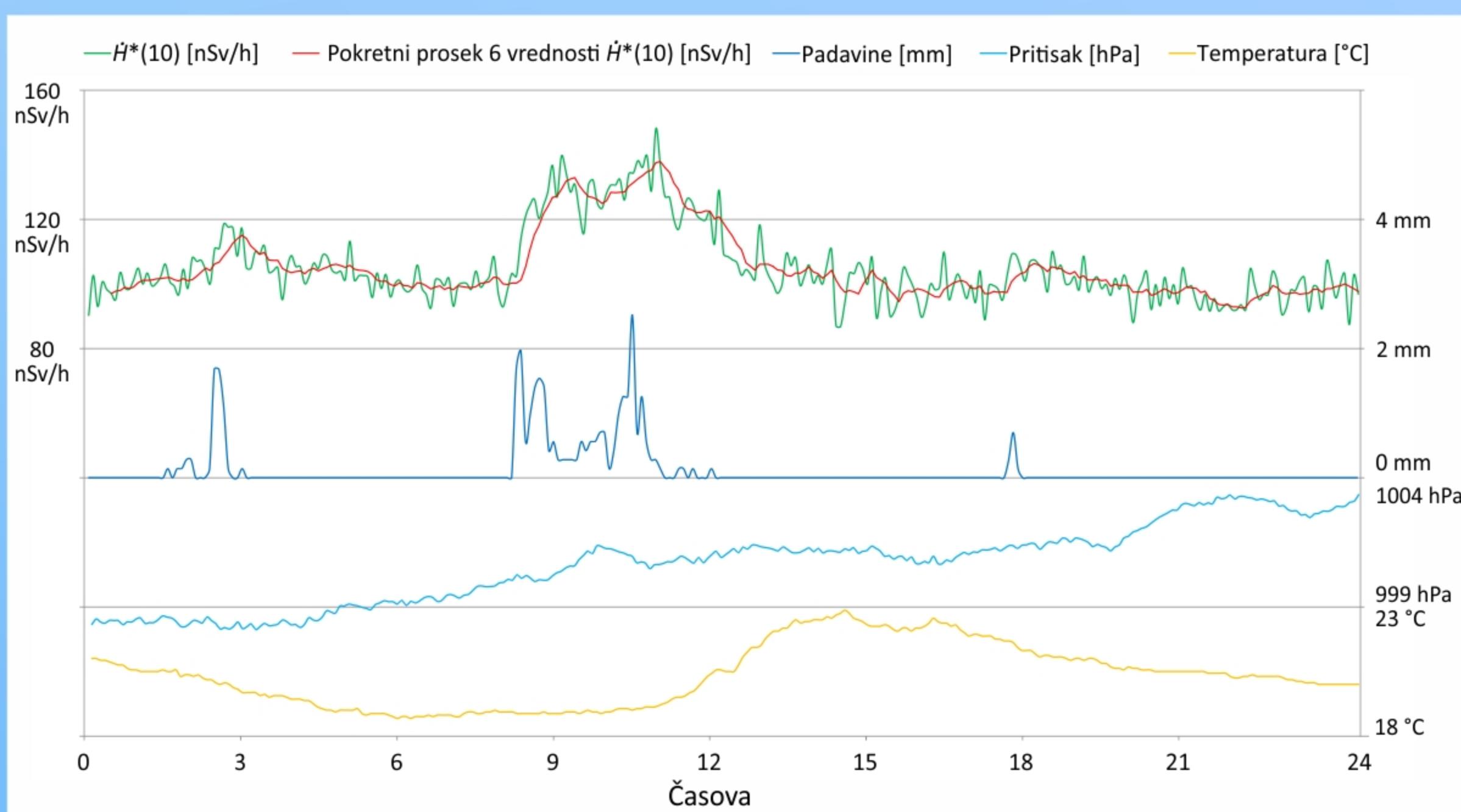
Miloš Đaletić



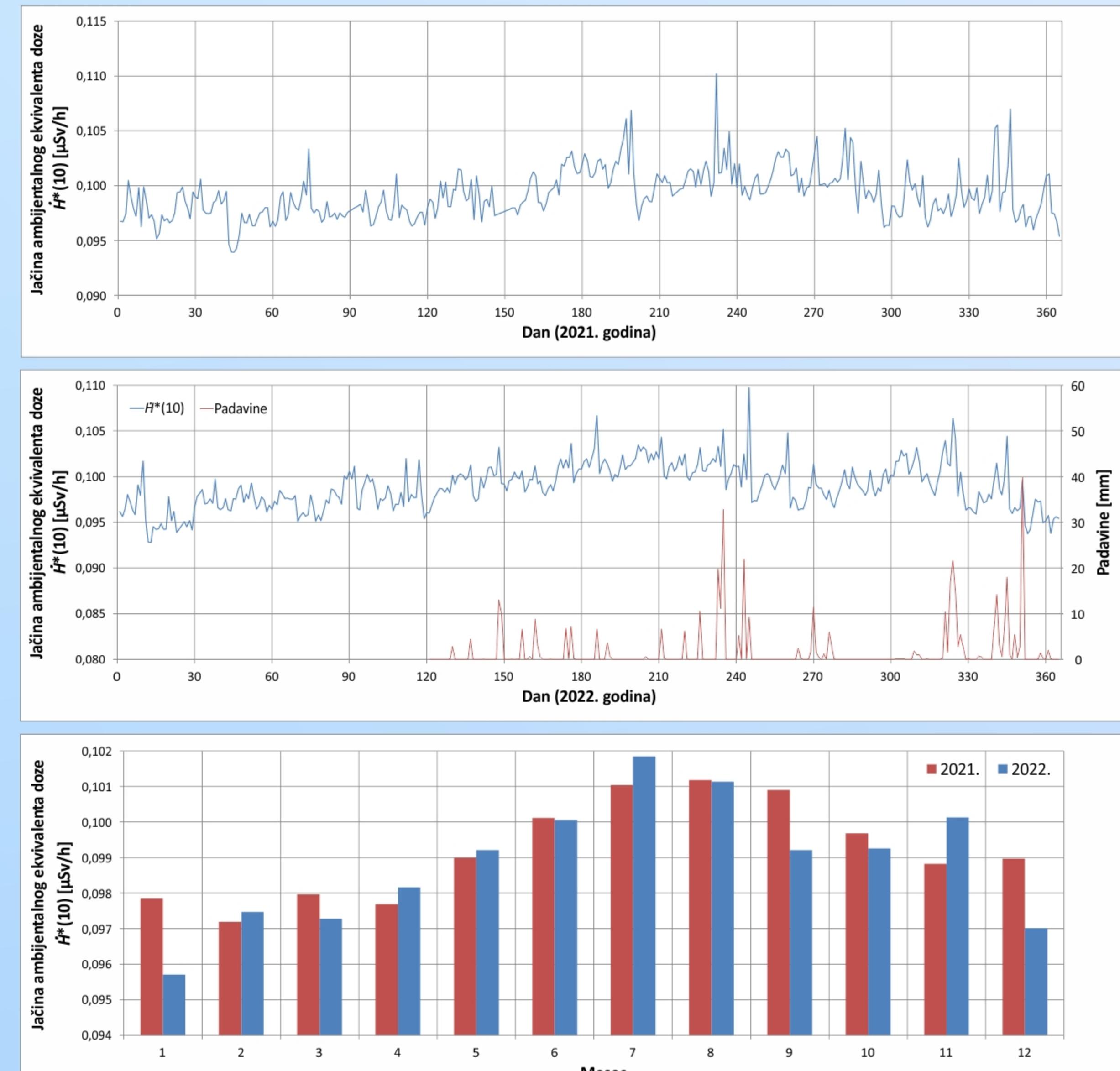
Institut "VINČA"
Laboratorija "ZAŠTITA"

**Institut za nuklearne nauke Vinča – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija**

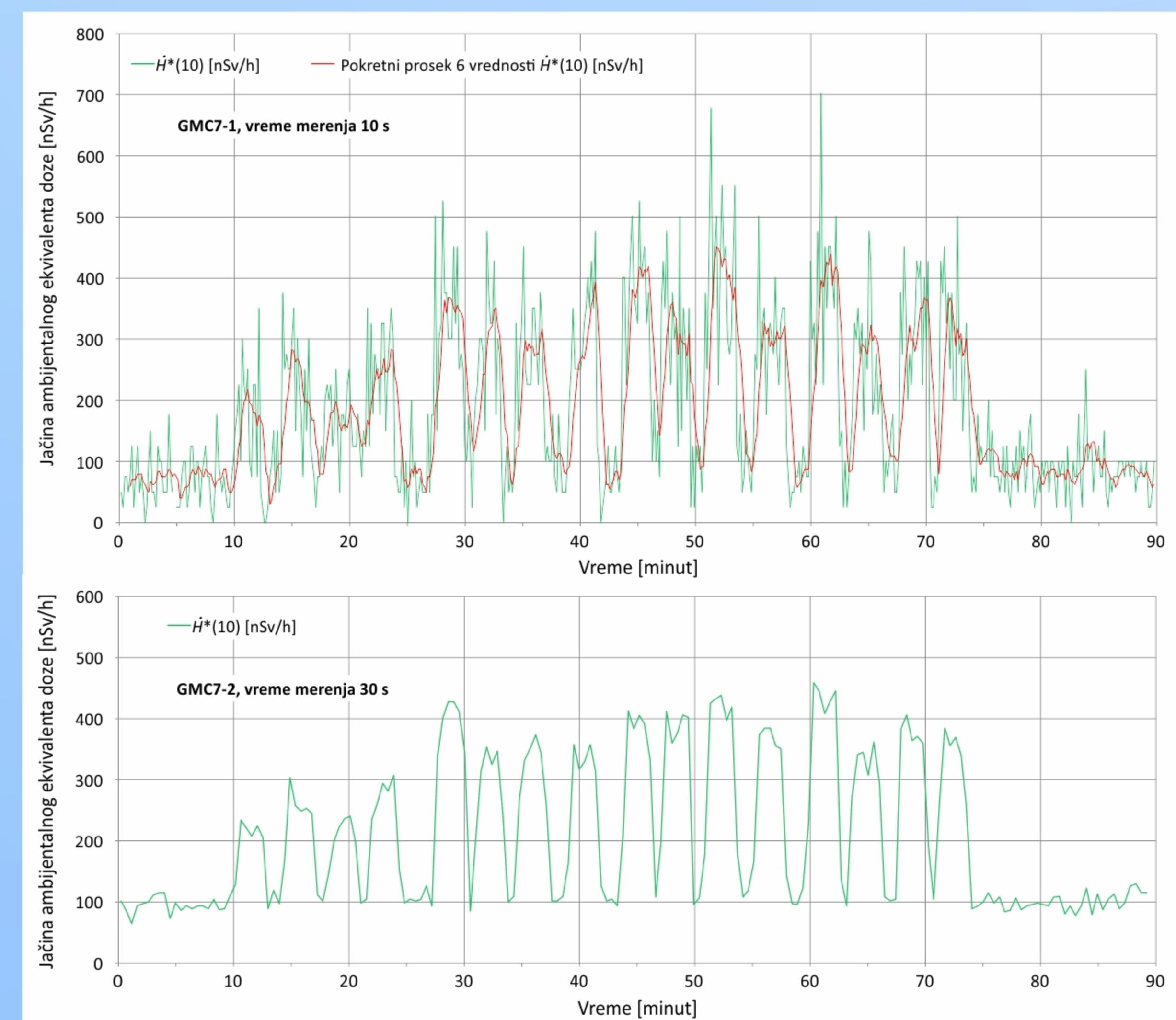
- Razvoj uređaja za kontinualno merenje jačine doze gama zračenja u životnoj sredini GMC7 2011. godine i akcident u nuklearnoj elektrani Fukušima Daiči u Japanu iste godine, podstakli su autora da instalira jedan takav sistem u okviru privatnog poseda u širem centru Požarevca.
- Stanice sistema pravovremene najave radiološkog akcidenta koje su u nadležnosti Direktorata za radijacionu i nuklearnu sigurnost i bezbednost Srbije najbliže mernom mestu u Požarevcu su one u Beogradu (60 km), Vinči (50km) i Kladovu (115 km).
- Sistem je od puštanja u rad 2011. godine kontinualno unapređivan i sada se koriste tri merača GMC7 sa sondama različite osetljivosti, od 2013. godine se automatski mere ambijentalna temperatura i vazdušni pritisak, a od polovine 2022. godine je napravljen i automatski sistem za merenje količine padavina na bazi klackalice.
- Sistemi GMC7-0, GMC7-1, GMC7-2 i automatska meteorološka stanica povezani su na zaseban personalni računar koji se koristi isključivo za akviziciju i čuvanje podataka. Ceo sistem je povezan na neprkidno napajanje i ima autonomiju od približno 60 minuta. Ukupna raspoloživost sistema iznosi 97 % (2011. - 2023.) dok je raspoloživost sistema GMC7-2 od februara 2020. do juna 2023. godine 99,2 %, što je zadovoljavajuć rezultat za jednu privatnu mernu stanicu bez posebnog režima održavanja.
- Rezultati merenja najosetljivijim sistemom GMC7-2 u periodu od tokom 2021. i 2022. godine prikazani su na slici 1. Vrednosti ambijentalnog ekvivalenta doze su na očekivanom nivou fona sa sezonskim varijacijama i sa povremenim kratkotrajnim povećanjima uzrokovanim spiranjem radona iz atmosfere tokom atmosferskih padavina. Jedan takav slučaj je prikazan na slici 2. gde se vidi korelacija padavina i jačine doze.
- Na slici 3 prikazano je povećanje jačine doze izazvano veštačkim radionuklidom tokom radiografske defektoskopije varova u blizini merne stanice (približno 250 m).
- Ovakav sistem je dovoljno pouzdan da se može koristiti kao dodatna merna stanica u slučaju nuklearnog akcidenta ili nekontrolisane emisije radioaktivnih efluenata u životnu sredinu. Pored toga, može detektovati prisustvo i korišćenje izvora gama zračenja u okolini stanice, pa može otkriti i akcidente sa industrijskim izvorima zračenja ukoliko se dese u relativnoj blizini stanice.



Slika 2. Povećana jačina doze tokom jednog dana sa atmosferskim padavinama



Slika 1. Rezultati merenja $\dot{H}^*(10)$ tokom 2021. i 2022. godine



Slika 3. Jačina doze tokom vršenja defektoskopije varova u blizini merne stanice

SADRŽAJ RADIONUKLIDA I DOZA INGESTIJOM ZA ČAJEVE SPRAVLJENE OD LEKOVITOGL BILJA SA TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE

Jelena KRNETA NIKOLIĆ¹, Marija LUČIĆ², Milica RAJAČIĆ¹, Ivana VUKANAC¹, Nataša SARAP¹, Marija JANKOVIĆ¹

¹Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Beograd, Srbija

²Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet medicinskih nauka, Integrisane akademske studije farmacije

- * U radu su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih radionuklida i ^{137}Cs u 15 uzoraka lekovitog bilja sa teritorije Republike Srbije. Uzorci su nabavljeni u Institutu za istraživanje lekovitog bilja "Dr Josif Pančić". Izabrani su tako da sadrže različite delove (koren, stablo ili cvet) istih biljnih vrsta da bi se uočila eventualna različita distribucija radionuklida u različitim delovima biljke.
- * Prirodni radionuklidi ^{238}U , ^{235}U i ^{210}Pb su bili ispod MDC u svim uzorcima, ^{226}Ra je detektovan u 3, ^{137}Cs u 5 uzoraka a ^{232}Th u 1 uzorku. Nije uočena posebna distribucija.
- * Koncentracija ^{40}K je bila veća u listu nego u korenju biljke.
- * Na osnovu dobijenih rezultata, izračunata je doza ingestijom koju bi primila osoba koja piće čaj spravljen od ispitivanog lekovitog bilja, pod pretpostavkom da popije 0,2 L čaja dnevno.
- * Doza ingestijom za ^{137}Cs je data u tabeli dok je za ^{226}Ra maksimalna doza ingestijom bila 79,7 μSv .

Vrsta	Aktivnost ^{137}Cs [Bq/kg]	E_{ing} [μSv]
List borovnice	6.8 ± 1.4	32,3
Plod borovnice	1.4 ± 0.4	6,64
Koren jagorčevine	6.5 ± 1.1	30,8
Cvet jagorčevine	4 ± 1	19,0
Majčina dušica	2.9 ± 0.7	13,8

Merenja koncentracije aktivnosti svih radionuklida ispitanih u ovom istraživanju pokazala su rezultate koji su u skladu sa granicama propisanim u Pravilniku 36/18



ANALIZA FRAKTALNE PRIRODE SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE MERENE U BEOGRADU, SRBIJA (1991-2022)

Darko SARVAN¹, Đorđe STRATIMIROVIĆ², Milica RAJAČIĆ³,
Jelena KRNETA NIKOLIĆ³, Ivana VUKANAC³, Jelena AJTIĆ¹

1) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd

2) Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Beograd

3) Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd

Uvod

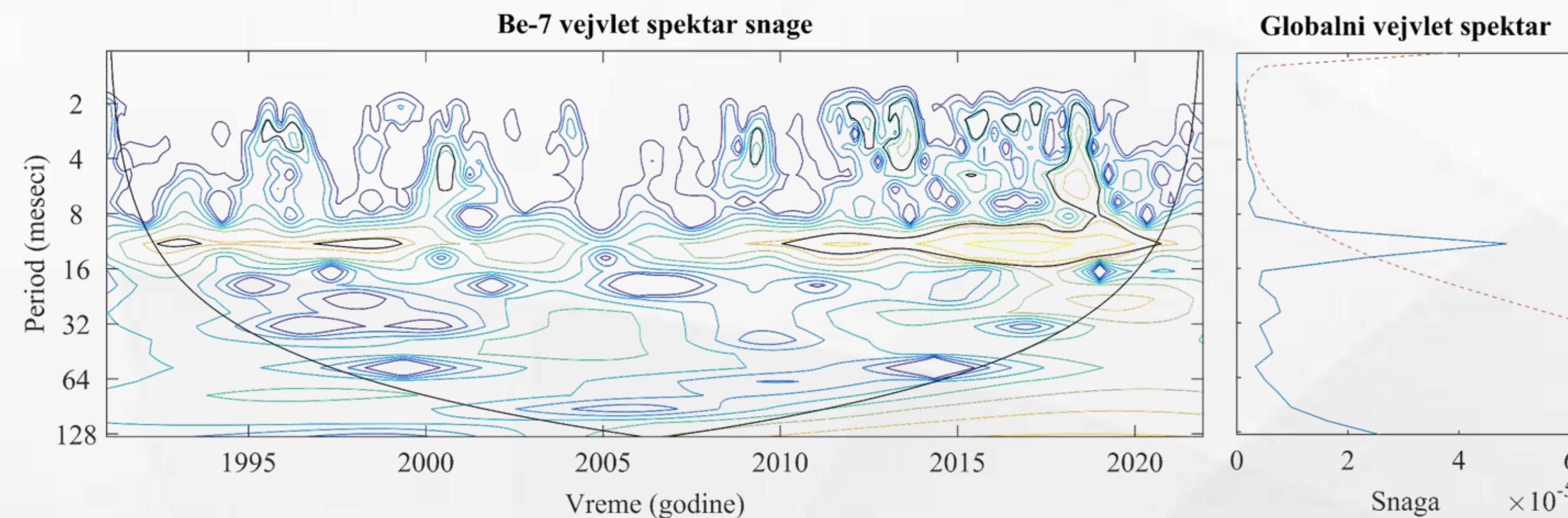
- Berilijum-7 (Be-7) smatra se obeleživačem kretanja vazdušnih masa. U ovom radu korišćen je dugogodišnji niz mesečnih merenja kako bi se analizirala fraktalna priroda Be-7 u prizemnom sloju vazduha.

Materijal i metode

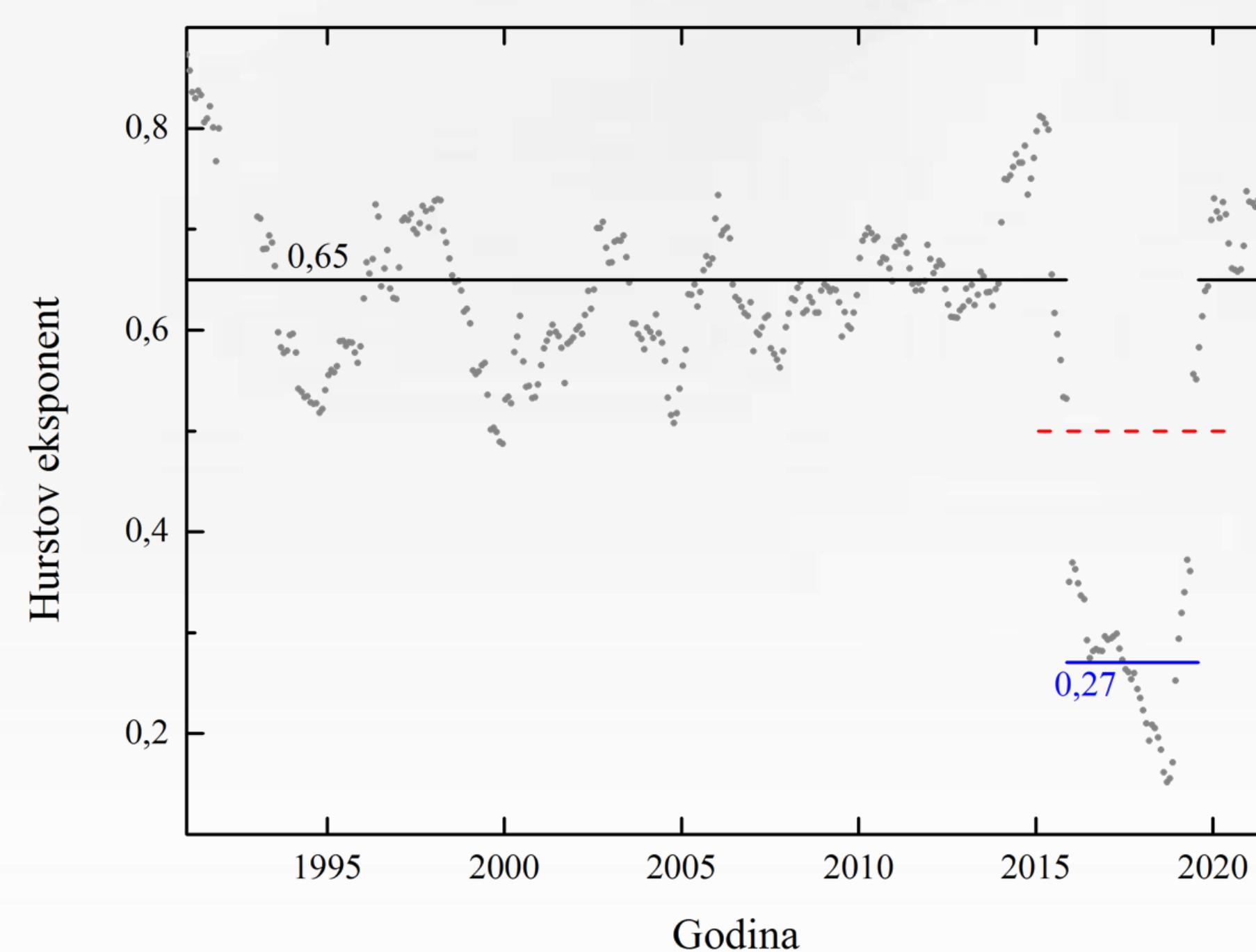
- Specifične aktivnosti Be-7 u Beogradu ($44,88^{\circ}\text{N}$; $20,58^{\circ}\text{E}$; 95 m nadmorske visine), Srbija, od februara 1991. do decembra 2022. godine. Ovi podaci su deo GRAMON (Ground Air Radioactivity Monitoring) baze.
- Metoda vejvlet transformacija (Wavelet Transform; WT) i time-dependent Detrended Moving Average (tdDMA) za analizu fraktalne karakteristike vremenske serije Be-7.

Rezultati

- Vejvlet spektar snage i globalni vejvlet spektar jasno ukazuju na postojanje godišnjeg karakterističnog perioda (sl. 1).



Slika 1: Levo – Vejvlet spektar snage specifične aktivnosti Be-7, koristeći Morlet vejvlet, normalizovan sa $1/\sigma^2$. Konusna linija predstavlja konus uticaja koji odvaja regiju od manje pouzdanih graničnih vrednosti. Desno – Globalni vejvlet spektar, konstruisan koristeći vejvlet spektar snage sa leve strane, na kojem se vidi izražen karakterističan period od jedne godine. Isprekidana crvena linija označava 95% značajnosti.



Slika 2: Lokalni Hurstovi eksponenti za karakteristični period od godinu dana kao funkcija vremena za mesečne podatke specifične aktivnosti Be-7 za prizemni sloj vazduha u Beogradu, Srbija, tokom 1991–2022. Razlikujemo dva perioda: crna linija sa pozitivnom dugodometnom korelacijom, i plava sa negativnom dugodometnom korelacijom. Isprekidana crvena linija pokazuje krossover za vrednost Hursta od 0,5.

- Lokalni Hurstovi eksponenti dobijeni koristeći mesečne podatke specifične aktivnosti Be-7 na karakterističnom godišnjem periodu (sl. 2).
- Pozitivna korelisanost za dat karakteristični period predstavljena crnom horizontalnom linijom čija je prosečna vrednost $H = 0,65$.
- Od decembra 2015. do maja 2019. primetan pad u stepenu korelisanosti što je predstavljeno kao horizontalna plava linija čija je prosečna vrednost $H = 0,27$.

Diskusija i zaključak

- Analiza globalnog vejvlet spektra snage signala omogućila je identifikaciju karakterističnog jednogodišnjeg perioda unutar vremenske serije specifične aktivnosti Be-7. Prethodna istraživanja već su identifikovala sezonske periodičnosti u vremenskim serijama Be-7 i one su rezultat uticaja transporta velikih vazdušnih masa na hemisferskom nivou.
- Vrednosti Hurstovog eksponenta za godišnji period pokazuju prisustvo umerene pozitivne korelacije skoro tokom celog ispitivanog perioda što sugerise da su promene ponašanja specifične aktivnosti Be-7 uglavnom spore, a na godišnjem nivou ponašanje je gotovo identično. Međutim, primetan je krossover i prelazak vremenske serije iz umerene pozitivne korelisanosti u izrazito antikorelisan proces tokom 2015–2020. godine. Ovaj rezultat biće predmet šire analize koja uključuje i druge lokacije iz GRAMON baze podataka.

Fly-ash for usage in the building material industry

Nataša MLADENOVIĆ NIKOLIĆ¹, Katarina TRIVUNAC², Miloš NENADOVIĆ³, Sabina DOLENEC⁴, Maruša MRAK⁴, Ivana VUKANAC⁵, Snežana NENADOVIĆ¹, Ljiljana KLJAJEVIĆ¹



¹ „Vinča“ Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Department of Materials, Belgrade, Serbia

²Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Department of Analytical Chemistry and Quality Control, Belgrade, Serbia

³„Vinča“ Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Department of Atomics Physics, Belgrade, Serbia

⁴Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, Dimčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

⁵„Vinča“ Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Department of Radiation and Environmental Protection, Belgrade, Serbia



Fly ash (FA) is a by-product material (industrial waste) produced in the combustion process of coal used in power stations. There has been an increasing attempt for fly ash utilization in different sectors. The production of construction materials using or re-using local industrial waste alumina-silicate materials is a cost-benefit, environmental-friendly and sustainable technology. In the thermal power plants (TE) of "Elektroprivreda Srbije" (JP EPS) whose boilers burn lignite, around 6 million tons of fly ash are produced annually as a waste which is deposited in an open waste disposal, taking up an area of around 400 hectares. Depositing ash in open spaces can be very damaging to the environment due to the potentially deleterious effects of ash particles. In order the ashes found in landfills to continue to be used as raw materials in the production of concrete, cement, clinker, and some new materials, for example alkaline-activated materials that would find their application in the construction sector, it is necessary to examine, among others, physico-chemical, mineralogical, and radiological characteristics of FA. The radioactivity of FA can be one of the important reasons against its wider use in the construction industry of Serbia.

- Moisture measurements - drying sample in an oven SP-440 (max. T 300 °C) on 105 °C for 24 h.
- Specific surface area of the fly ash samples - BET (Brunauer-Emmet-Teller) method using Micromeritics ASAP-2020 analyser, by nitrogen adsorption measurements at 77 K. The samples were pre dried for 60 min at 105 °C.
- Specific density was determined according to EN 1097-7 by pycnometer method.
- Total organic compound (TOC) - Analizator CW-800M "Multiphase", ELTRA by dry incineration method, detection of products with IR detector.
- X-ray powder diffraction (XRD) - PANalytical Empyrean X-ray diffractometer equipped with CuKa radiation with $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$. The samples were scanned at 45 kV and a current of 40 mA, over the 2θ range from 4° to 70°, at a scan rate of 0.026° 2θ min^{-1} and step time 172 seconds.
- XRF analysis - wavelength dispersion (WD XRF) spectroscope ARL Perform X (Thermo Scientific) with a power of 2500 W, 5 GN Rh X-ray tube, 4 crystals (AXO3, PET, LiF200 and LiF220), two detectors (proportional and scintillation), and computer program UniQuant. The samples were quartered, dried at 105 °C and calcined at 950 °C.
- The contents of naturally occurring radionuclides in the FA were determined by gamma spectrometry. The samples of FA placed in PVC cylindrical containers (125 ml and 250 ml), sealed with beeswax and left for six weeks. The equilibrium between radon and its progenies is realized in this way. Radiological analysis was performed by means of a coaxial semiconductor high purity germanium (HPGe) detector (Canberra 7229N-7500-1818 with 20 % relative efficiency and 1.8 keV resolution for 60Co at the 1332 keV line) associated with standard beam supply electronics units.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTIC

- Moisture content
- Granulometry
- BET specific surface area
- Particle and bulk density
- Total organic compound (TOC)
- X-ray powder diffraction (XRD)
- X-ray fluorescence (XRF)

SAMPLE S1 FROM THE PASSIVE CASSETTE
SAMPLE S2 FROM ACTIVE CASSETTE

RADIOLOGICAL CHARACTERISTICS

- Activity concentration index, ACI
- Radium equivalent activity, R_{eq}
- External hazard index, Hex
- Total external absorbed gamma dose rate, D
- Annual effective dose EDR

Table 1: Particle density, bulk density, BET, moisture content and TOC of FA

Sample	Particle density (g/cm ³)	Bulk density (kg/m ³)	BET (m ² /g)	Moisture content (%)	TOC (%)
S1	2.20	681	8.0	31.22	0.56
S2	2.05	659	17.9	25.92	0.71

Table 2: Results of laser granulometry

Sample	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)
S1	13.4	78.7	203.4
S2	21.5	85.9	144.1

Table 3: Phase composition of ash samples

Sample	Amorphous (%)	Mineral composition (%)							SUM
		Quartz	Mullite	Plagioclase	K-feldspar	Hematite	Calcite		
S1	68.0	14.2	9.2	6.8	1.2	0.2	0.4	/	100.0
S2	71.6	16.5	6.5	4.6	0.7	0.1	/	/	100.0

Table 4: XRF results of chemical composition of all samples

Sample	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SUM
S1	3.00	57.65	23.46	5.28	5.82	1.98	0.32	1.39	0.04	0.07	0.84	0.05	0.05	100.04
S2	5.90	57.92	22.72	6.30	2.99	1.43	0.30	1.29	0.34	0.06	0.72	0.05	0.03	100.10

Table 5: Activity concentration of natural radionuclides in the investigated samples with associated measurement uncertainties ($k = 1$)

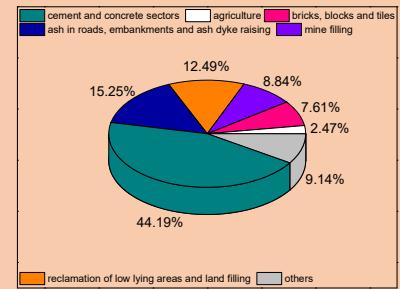
Sample	Specific activity (Bq/kg)							
	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²³⁸ U	²³⁵ U	
S1	89±8	72±3	61±4	246±17	<0.1	81±8	5.5±0.4	
S2	29±3	51±2	38±3	211±15	<0.1	47±5	2.8±0.2	

Table 6: Radium equivalent activity (Ra_{eq}), external radiation hazard index (Hex), the external gamma radiation absorbed dose rate (D) and effective dose rate (EDR)

Sample	Ra _{eq} (Bq/kg)	Hex (Bq/kg)	D (nGy/h)	EDR (mSv/y)	ACI
S1	348.65	0.481	80.4	0.394	0.627
S2	267.81	0.328	55.3	0.271	0.430

CONCLUSION

- ✓ Physico-chemical characteristics of samples led to conclusion that these ashes are heterogeneous materials. High % of the amorphous phase indicates a good reactivity of FA in further processes of use as a component in the production of clinker or alkali-activated materials.
- ✓ Accordingly to the criteria Ra_{eq} < 370, Hex < 1, FA from both casete can be freely re-used as raw materials for building materials.
- ✓ This research represents a good basis for further investigations, considering the possible utilization of these ashes in production of new materials that can be applied in the construction sector.



IZBOR REFERENTNOG DATUMA ZA PREZENTOVANJE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA U VREMENSKI KOMPOZITnim UZORCIMA

Milica RAJAČIĆ, Ivana VUKANAC, Jelena KRNETA NIKOLIĆ, Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ

Institut za nuklearne nauke Vinča, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11351 Vinča, Beograd, Srbija, milica100@vinca.rs

Kako predstaviti
“dan uzorkovanja”
kod vremenski kompozitnih
uzoraka?

Na koji referntni dan korigovana izmerena
aktivnost vremenski kompozitnog uzorka
(A_r) najpribližnije određuje ukupnu dnevnu
aktivnost svih uzorka na dan njihovog
uzorkovanja (A_u)?



Ispostavlja se da dan kada je razlika ove dve aktivnosti (A_r i A_u) minimalna zavisi od:

- ukupne vrednosti dnevnih aktivnosti (A_u),
- vremenske raspodele dnevnih vrednosti (homogenosti aktivnosti),
- dužine perioda sakupljanja (D) i
- vremena poluraspada posmatranog radionuklida ($T_{1/2}$).

U radu je praćeno kako promena navedenih parametara utiče na promenu optimalnog referentnog datuma za koji je razlika aktivnosti A_r i A_u minimalna.

Rezultati pokazuju izvestan nivo pravilnosti kod homogenih uzoraka, međutim nehomogenost dnevnih aktivnosti, što je slučaj u realnosti, ima veliki uticaj na promenu optimalnog referentnog datuma, ali za sada bez utvrđenih pravilnosti.

MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENOM PROSTORU PRIKAZ JEDNOG SLUČAJA

V. ARSIĆ¹, I. ČELIKOVIĆ², I. TANASKOVIĆ¹, S. BOGOJEVIĆ¹, J. ILIĆ¹

1) Institut za medicinu rada Srbije "Dr Dragomir Karajović"; 2) Institut za nuklearne nauke "Vinča"

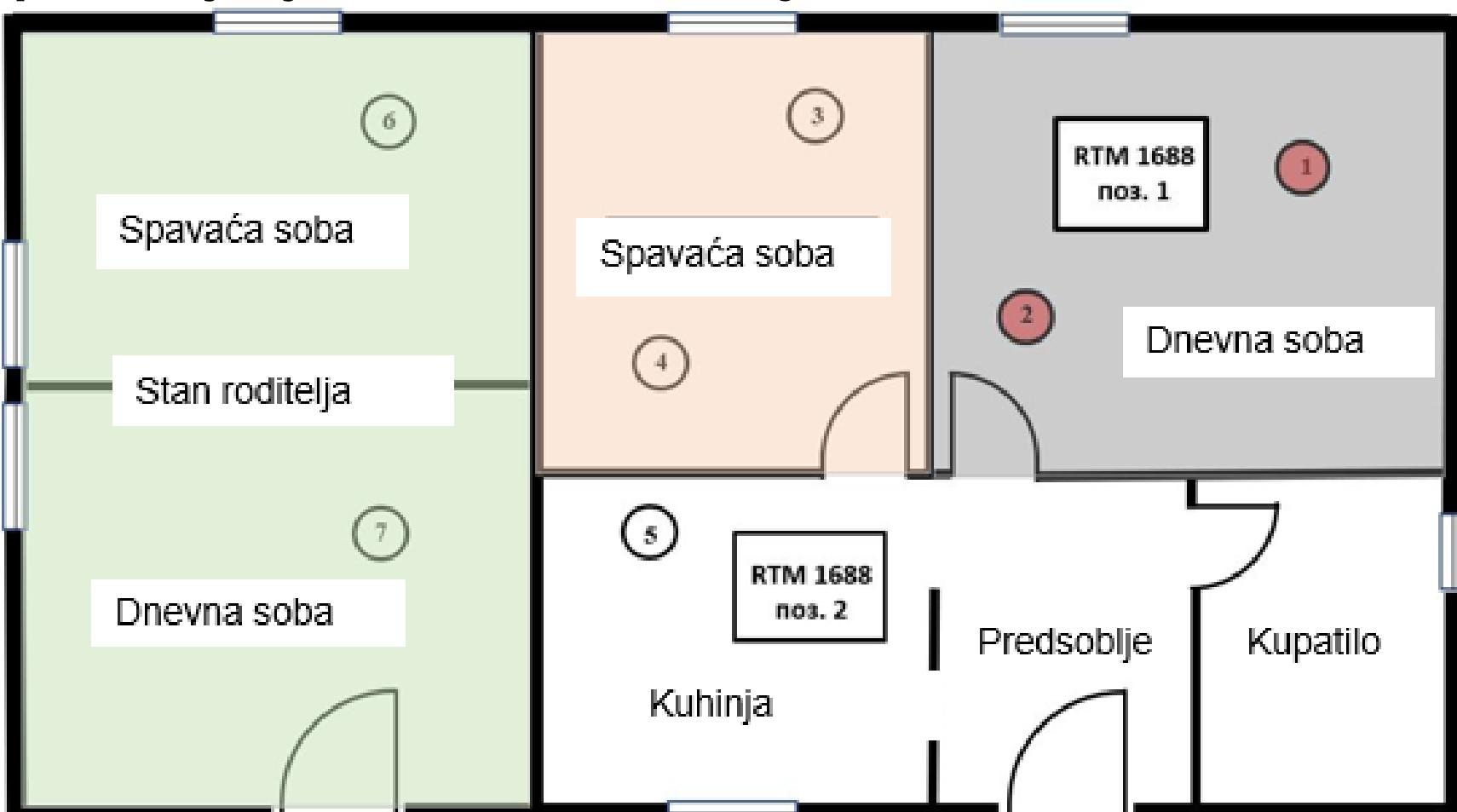
UVOD

Rad obrađuje merenja koncentracije radona u porodičnoj kući na Bežanijskoj Kosi, sprovedenih sa ciljem da se ustanove razlozi prethodno dobijenih povišenih vrednosti. Merenja su izvršena saradnjom dve laboratorije: Laboratorije za nuklearnu i plazma fiziku Instituta „Vinča“ (NPF) i Laboratorije za ispitivanje radiaaktivnosti Instituta „Karajović“ (RE). Ispitivanja su obavljena u četiri etape. U prvoj i drugoj etapi, merenja je izvršila Laboratorija RE, samostalno. U trećoj i četvrtoj etapi, merenja su izvršena saradnjom pomenute dve laboratorije.

Pregled izvršenih merenja i postavljanja detektora

Lab.	Vrsta ispitivanja	Lokacija	Pozicija (Slika 1)	Lab.	Vrsta ispitivanja	Lokacija	Pozicija (Slika 1)
Prva etapa merenja (17.12.-20.12.2021.)							
RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2	RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2
		Spavaća soba	3, 4			Spavaća soba	3
		Stan roditelja	6, 7				
Treća etapa merenja (31.05.-02.06.2022.)							
RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1	RE	Adsorpcija na aktivnom uglju	Dnevna soba	1, 2
		Spavaća soba	3, 4			Spavaća soba	3
		Kuhinja	5				
		Stan roditelja	7				
Uzorkovanje							
NPF	Brz. ekshalacije iz poda sobe	Zemljište		NP F	Brz. ekshalacije iz poda sobe	Dnevna soba	Kvadrat
		Dnevna soba	Kvadrat 1			Kuhinja	Kvadrat 2
		Kuhinja	Kvadrat 2			Laboratorijski NPF	-
		Uzorkovanje	Građevinski materijal			Konc. Ru u zemlji	Dvoriste

Slika 1: Skica donjeg sprata kuće sa pozicijama postavljanja detektora i uređaja RTM 1688-2



METODOLOGIJA I OPREMA

Za ispitivanje koncentracije radona u prostorijama kuće korišćena je EPA metoda [1]. **Gamaspektrometrijsko ispitivanje uzorka zemljišta** vršeno je uz pomoć poluprovodničkog HPGe detektora (ORTEC, efikasnosti 40 %). **Merenje brzine ekshalacije radona iz građevinskog materijala** izvršena je metodom zatvorene komore [3]. Unutrašnjost komore je preko dva ventila povezana sa aktivnim uređajem RTM1688-2 koji je kontinualno merio koncentraciju radona u komori sa uzorkom. Za kratak interval merenja, površinska brzina ekshalacije radona se dobija linearnim fitom krive nagomilavanja. **Za merenja koncentracije radona u zemljištu**, korišćen je isti uređaj uz dodatak sonde dužine 1,5 m, koja se čeličnim čekićem pobija u zemlju na dubinu od 1 m. Gornji kraj šipke se sa gumenim crevom povezuje sa uređajem. Uz pomoć pumpe, vazduh se isisava i ubacuje u mernu komoru detektora. Posle završenog jednog ciklusa merenja dobija se odbroj u svim kanalima detektora ponaosob.

REZULTATI

Etape 1 i 2

Lokacija	Aktivnost (Bq/m ³)	Lokacija	Aktivnost (Bq/m ³)
Dnevna soba (pozicije 1, 2)	746 ± 19	Spavaća soba (pozicija 3)	253 ± 5
	760 ± 10		-
Spavaća soba (pozicije 3, 4)	582 ± 17	Dnevna soba (pozicije 1, 2)	374 ± 6
	807 ± 10		-
Dnevna soba roditelja (pozicija 7)	237 ± 11		
	250 ± 7		
	146 ± 5		
	95 ± 5		
	80 ± 64		
Spavaća soba roditelja (pozicija 6)	81 ± 5		
	72 ± 6		
	72 ± 5		



Merenje ekshalacije radona iz poda

Etapa 3

Lokacija	Aktivnost (Bq/m ³)
Dnevna soba (pozicija 1)	177 ± 7
Spavaća soba (pozicija 4)	268 ± 7

Etapa 4

Lokacija	Aktivnost (Bq/m ³)
Dnevna soba (pozicija 1)	934 ± 9
Spavaća soba (pozicija 4)	186 ± 5
Kuhinja (pozicija 3)	311 ± 8
Dnevna soba roditelja (pozicija 5)	81 ± 5
Spavaća soba roditelja (pozicija 6)	72 ± 5

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Prikaz procene ukupnog doprinosa svih procenjenih faktora na koncentraciju radona u zatvorenom prostoru

Datum merenja	Prostorija u objektu	Doprinos koji potiče od poda (Bq m ⁻³)	Doprinos od građ. materijala (Bq m ⁻³)	Ukupno (Bq m ⁻³)
31.05.	Dnevna soba	16,2		40,8
	Kuhinja	199		223,6
02.11.	Dnevna soba	20,3		24,6
	Kuhinja	55		44,9
				79,6

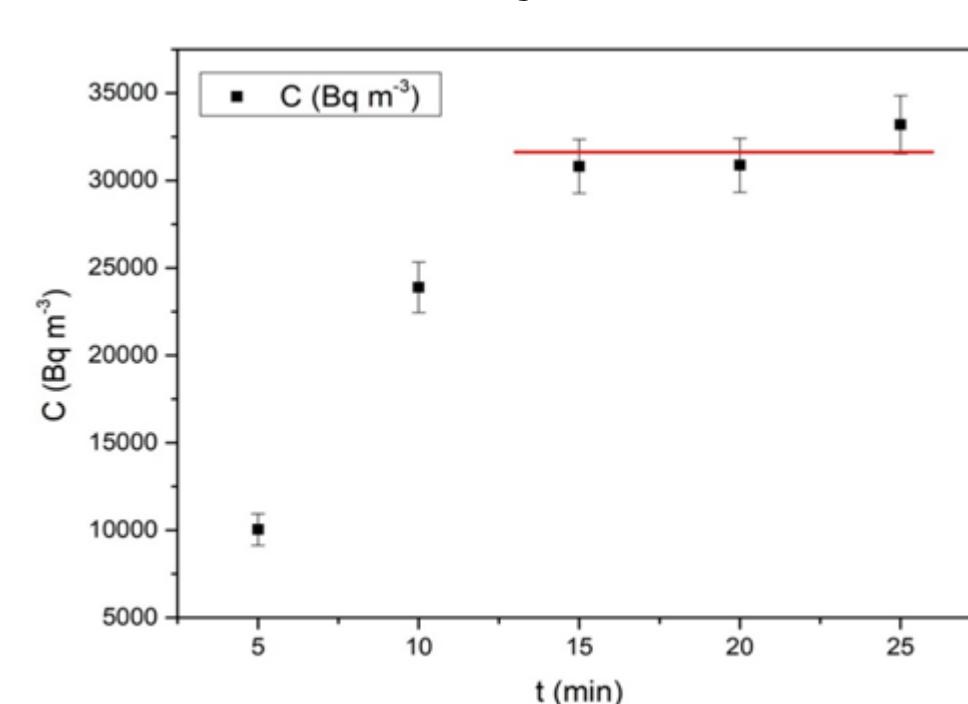
- Na osnovu merenje brzine ekshalacije, koncentracija radona, koji bi se mogao naći u unutrašnjem vazduhu kuće, je između (40,8 - 223,6) Bq m⁻³.
- Koncentracije aktivnosti radona izmerene pomoću kanistera sa aktivnim ugljem kreću se u širokom opsegu od (72 - 934) Bq m⁻³.
- Koncentracije aktivnosti svih prirodnih radionuklida u izmerenom uzorku zemljišta su u granicama vrednosti koje su uobičajene za teritoriju Srbije.
- Koncentracija aktivnosti radona u zemlji izmerena aktivnim uređajem u blizini objekta iznosila je (31600 ± 1400) Bq m⁻³ što bi u slučaju slabije tehničke izvedbe kuće moglo doprineti povišenoj koncentraciji radona.

Slabo slaganje rezultata može se objasniti uzimanjem u obzir sledećih činjenica:

- Kuće sa slabo zaptivenim temeljima, izgrađenim na visokopropusnom tlu i sa nekoliko ulaznih tačaka za gas iz zemlje, mogu da crpe više od 10 % svog unutrašnjeg vazduha iz zemljišta [9]. Ukoliko samo 3 % od ukupne izmerene koncentracije radona u zemlji, uđe u objekat, razumljive su izmerene visoke koncentracije.
- Moguće je da je vrednost koncentracije radona u zemlji, malo potcenjena, jer je merenje 02.11.2022. izvršeno u uslovima prilično velike vlage (86 %).
- Opravdana je prepostavka da je doziđivanjem kuće "napravljeno mesto" ulaska za radon. Iako merenja aktivnim uređajem nisu otkrila slabe tačke u konstrukciji kuće, ipak se to smatra glavnim razlogom za izmerene povišene koncentracije radona.

Literatura

- D.J. Gray, S.T. Windham. EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, EPA 520/5-87-005, 1987
- SRPS ISO 18589-3 Merenje radioaktivnosti u životnoj sredini-Zemljište, deo 3, Merenje radionuklida, emitera gama zračenja, mart 2011
- I. Čeliković, M. Đurašević, P. Ujić, P. Repić, A. Kandić, B. Lončar. Ispitivanje brzine ekshalacije radona: uticaj sprašenosti i vlažnosti uzorka, Zbornik radova, XXIX Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 27–29. Septembar 2017, Srebrno jezero, 225-231
- P. Ujić, I. Čeliković, A. Kandić, Z. Žunić. Standardization and difficulties of the thoron exhalation rate measurements using an accumulation chamber. Radiat. Meas. 43, 2008, 1396–1401.
- World Health Organization, Guidelines for indoor air quality: Selected pollutants, WHO Regional Office for Europe, 2010 ch. 7, pp. 347-369.
- G. Pantelić, M. Rajačić, J. Krneta Nikolić, I. Vukanac, M. Živanović, I. Čeliković, D. Todorović, M. Janković, N. Sarap, M. Radenković. Sezonske varijacije koncentracije radona, Zbornik radova XXX simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 02–04. Oktobar 2019, Divčibare, 215-219.
- COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation
- Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i merenjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Sl. gl. RS 86/11 i Sl. gl. RS 50/18)
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2010.



$$C_{Rn} = (31600 \pm 1400) \text{ Bq/m}^3$$



Ljiljana GULAN, Dušica SPASIĆ i Boris DROBAC

Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Prirodno – matematički fakultet, Kosovska Mitrovica, Republika Srbija, ljljana.gulan@pr.ac.rs

SAŽETAK U radu su predstavljeni rezultati monitoringa koncentracije radona u radnom prostoru, a u skladu sa direktivom Saveta Evropske unije (Directive 2013/59/EURATOM) kojom je državama članicama naloženo da utvrde nacionalne referentne nivoje koncentracije radona u objektima. Merenje koncentracije radona vršeno je u periodu od 15.09.2022 – 24.05.2023., aktivnim detektorom radona Corentium Home postavljenim u laboratoriji PMF-a u Kosovskoj Mitrovici, u suterenu zgrade stare preko 50 godina. Dnevne vrednosti koncentracije radona varirale su u intervalu (90 - 1446) Bq/m³, dok je usrednjena mesečna vrednost varirala u intervalu (248 - 950) Bq/m³; srednja vrednost za dati period je 475 Bq/m³. Merenja pokazuju da vrednosti koncentracije radona prevazilaze referentni nivo od 300 Bq/m³ koji je definisao EURATOM, i interventni nivo od 400 Bq/m³ za objekte starije gradnje utvrđen nacionalnim Pravilnikom o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima.

Mesto istraživanja –laboratorijska fizika PMF-a u Kosovskoj Mitrovici.

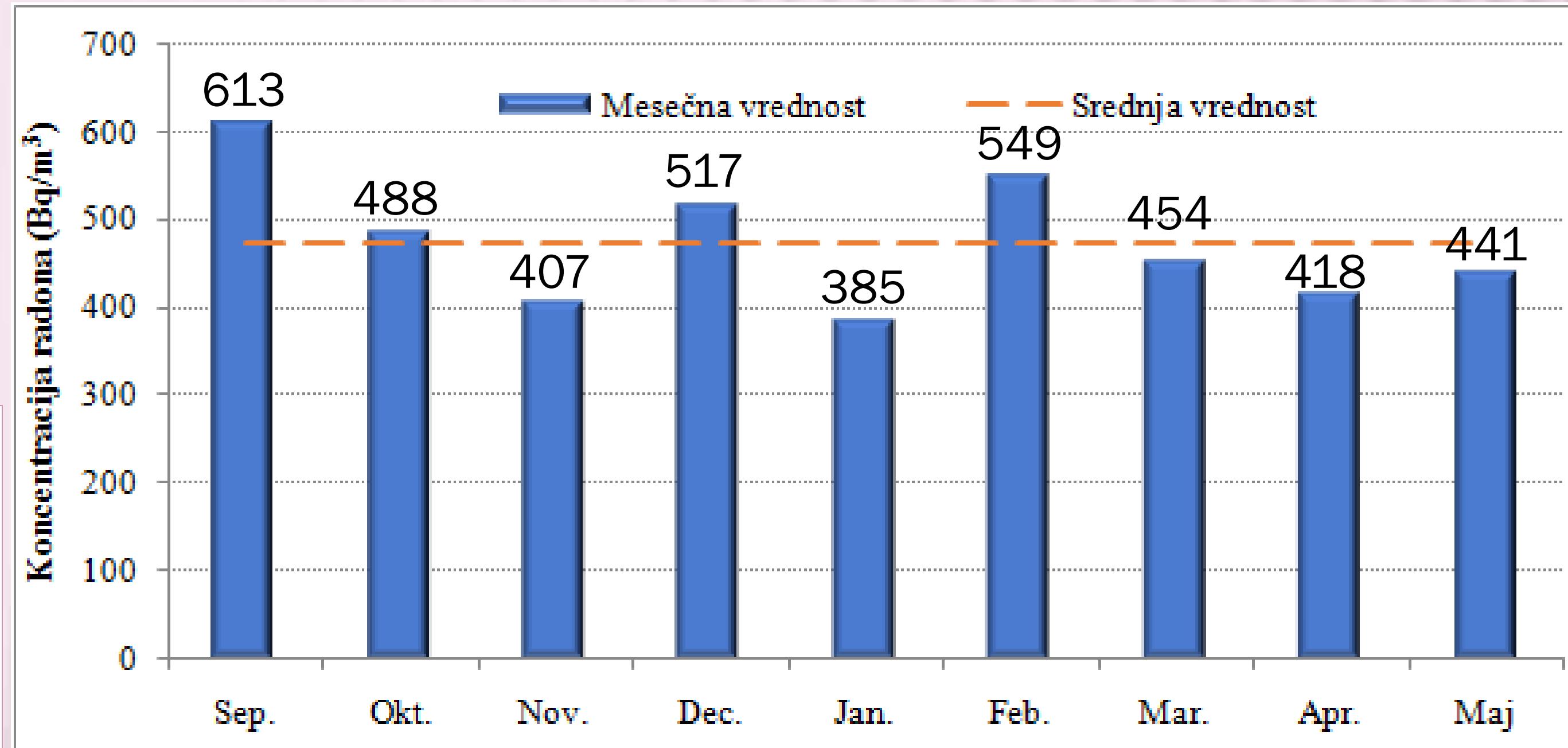
Region je karakterističan po intenzivnoj vulkanskoj aktivnosti u prošlosti; postoji aktivan rased; seizmički je klasifikovan kao region umerene opasnosti do regionala visokog rizika; u regionu Kosovske Mitrovice nalazi se rudnik olovo-cinkane rude "Trepča", što usled rudarenja može ukazivati na povećane vrednosti radionuklida.

CILJ:

Analiza rezultata merenja koncentracije radona u radnom prostoru u sezonama jesen/zima/proleće 2022/23, i poređenje sa ranijim merenjima.

Metod merenja

- Detektor Airthings Corentium Home
- Kontinuirana merenja u tri sezone u laboratorijskoj fizici u suterenu stare zgrade;
- Očitavanja koncentracije radona su vršena svakog radnog dana u istom vremenskom intervalu (8.00-9.00h).



Slika 1. Mesečne vrednosti koncentracije radona u laboratorijskoj fizici

REZULTATI I DISKUSIJA

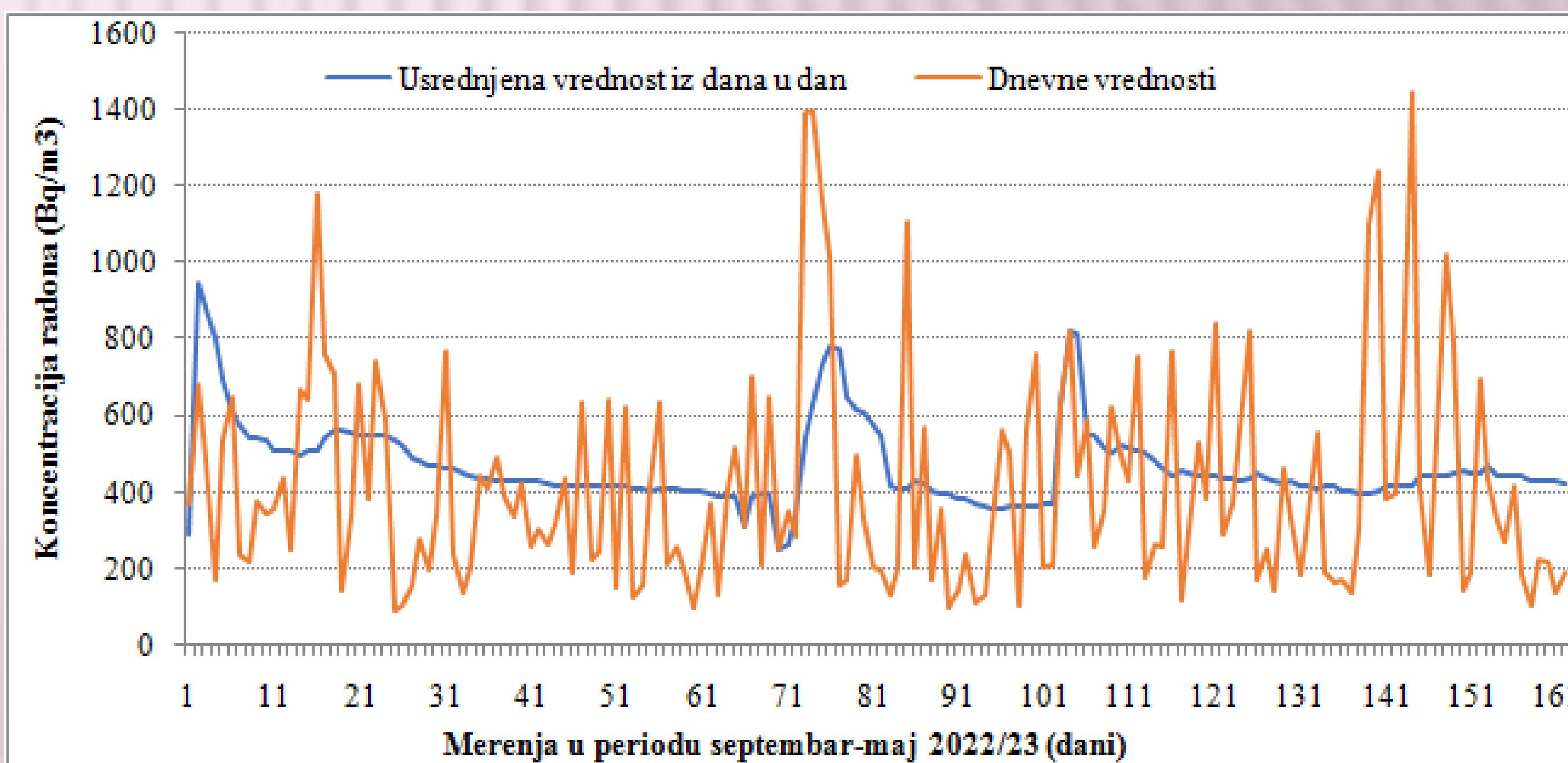
Slika 1. prikazuje srednje mesečne koncentracije radona u laboratorijskoj fizici: srednja vrednost za tri sezone merenja je 475 Bq/m³.

Slika 2. prikazuje varijacije koncentracije radona na dnevnom nivou (iz dana u dan); za celo period očitane dnevne vrednosti su se kretale u opsegu (90 - 1446) Bq/m³. Ove promene su uslovljene navikama zaposlenih u toku radnog vremena, što uključuje ventilaciju prostora.

Slika 3. prikazuje varijacije u koncentracijama radona u toku meseca oktobra. Pored meteoroloških parametara na fluktuacije radona mogu da utiču i procesi povezani sa iskopavanjem rude i podrhtavanjem tla.

Razlog visokih vrednosti koncentracije radona je najverovatnije podna obloga. Pod u laboratorijskoj fizici nije obnavljan od perioda izgradnje, pa radon prolazi kroz pukotine među spojevima parketa. Stariji objekti uglavnom imaju povišenu koncentraciju radona i izmerene koncentracije ukazuju da je dominantan izvor radona tlo ispod objekta.

U laboratorijskoj fizici, visoke prosečne koncentracije radona (573 Bq/m³) izmerene su ranije istim detektorom u periodu jesen/zima 2018/19, a dve godine kasnije izmerene su niže prosečne vrednosti (210 Bq/m³) u periodu oktobar-februar 2020/21.



Slika 2. Varijacije koncentracije radona u laboratorijskoj fizici u tri sezone



Slika 3. Varijacije koncentracije radona na dnevnom nivou u oktobru 2022

ZAKLJUČAK Prema dobijenim rezultatima vrednosti koncentracije radona na ovom radnom mestu prevazilaze referentni nivo od 300 Bq/m³ prema preporuci EURATOM-a o osnovnim bezbednosnim standardima za zaštitu od izlaganja radonu. Stoga je bitno podizanje svesti zaposlenih o negativnom uticaju radona na zdravlje, i podsticanje na primenu mera za smanjenje koncentracije radona kao što je češća ventilacija laboratorijske fizike.

ISPITIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA SA VODOIZVORIŠTA U CRNOJ GORI

Ranko ZEKIĆ¹, Tijana MILIVOJEVIĆ¹ i Tomislav ANĐELIĆ¹

¹ Centar za ekotoksikološka ispitivanja Podgorica

- Ispitivanje radioaktivnosti (ukupna alfa i beta aktivnost, koncentracija aktivnosti tricijuma kao i koncentracija aktivnosti radona) u vodi za piće sa svih vodoizvorišta u Crnoj Gori izvršena je prvi put tokom 2020. godine. U ovom radu su prikazani rezultati koncentracija aktivnosti radona sa 68 vodoizvorišta u Crnoj Gori,
- Mjerenje koncentracije aktivnosti radona u uzorcima vode za piće izvršena su sa ionizacionom komorom AlphaGUARD PQ 2000pro u kombinaciji sa AquaKIT sistemom za mjerenje radona u vodi proizvođača Genitron. Određivanje koncentracije aktivnosti radona izvršeno je u skladu sa standardnom metodom ISO 13164-3.
- Preporučeni nivo za radon u vodi za piće iznosi 100 Bq/l, dato u Council Directive 2013/51/EUROATOM.
- Rezultati:

Redni broj	A (Bq/l)	Učestalost	Procentualna zastupljenost (%)
1.	$0 < A \leq 1$	19	27,9
2.	$1 < A \leq 2$	15	22,1
3.	$2 < A \leq 3$	12	17,6
4.	$3 < A \leq 5$	10	14,7
5.	$5 < A \leq 10$	7	10,3
6.	$10 < A \leq 15$	5	7,4
Σ		68	100

- Zaključak: 82,3% dobijenih rezultata je ≤ 5 Bq/l, što ukazuje na veoma nisku koncentraciju aktivnosti radona u ispitivanim uzorcima vode. Maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 13,7 Bq/l.



**XXXII Simpozijum DZZSCG
Beograd, 04-06.10.2023.**

Sekcija Radon

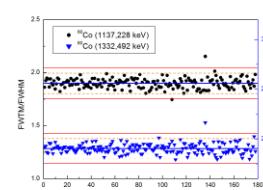
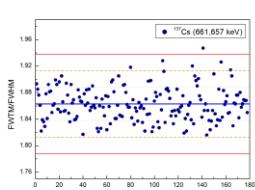
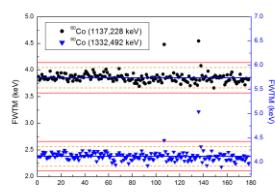
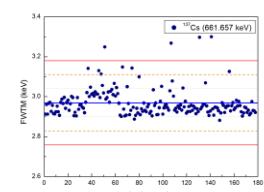
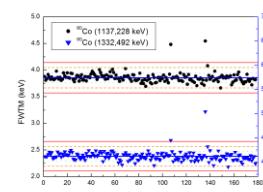
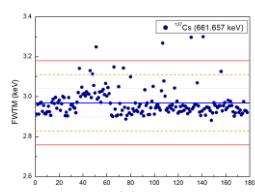
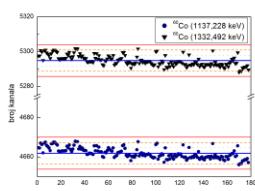
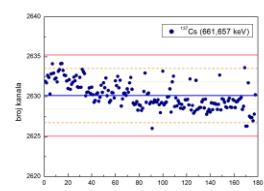
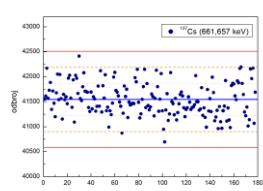
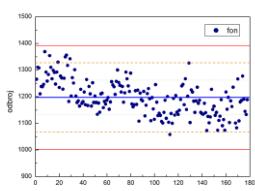
INTERNA KONTROLA KVALITETA HPGe GAMASPEKTROMETRIJSKOG SISTEMA

Aleksandra SAMOLOV, Aleksandar KANDIĆ, Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Igor ČELIKOVIĆ, Tamara MILANOVIĆ, Ivana VUKANAC

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju

Uvod: jedan od glavnih zahteva standarda ISO/IEC 17025 je obezbeđenje poverenja u rezultate merenja. Postoji nekoliko načina na koji to može biti rađeno a utvrđivanje programa interne kontrole kvaliteta je jedan od najčešće korišćenih [1].

Eksperimentalni deo: Stabilnost HPGe detektora marke Schlumberger (relativna efikasnost 15%, rezolucija 2,1 keV, sa odnosom pik-Kompton 39:1), ispitivana je jednom nedeljno, korišćenjem tačkastih izvora Co-60 i Cs-137. Ispitivani su odbroj ispod pika Cs-137, odbroj u fonu, položaj pika, FWHM, FWTM i odnos FWHM/FWTM. Vreme merenja je bilo 1000 s. Za analizu spektara korišćen je Genie 2000 softverski paket.



Zaključak: rad detektorskog sistema je stabilan a izmerene vrednosti pouzdane i validne. Dobijeni rezultati, takođe, naglašavaju značaj interne kontrole kvaliteta i prikazuju da je rad HPGe gamaspektrometrijskog sistema u saglasnosti sa međunarodnim preporukama i standardima.

Literatura:

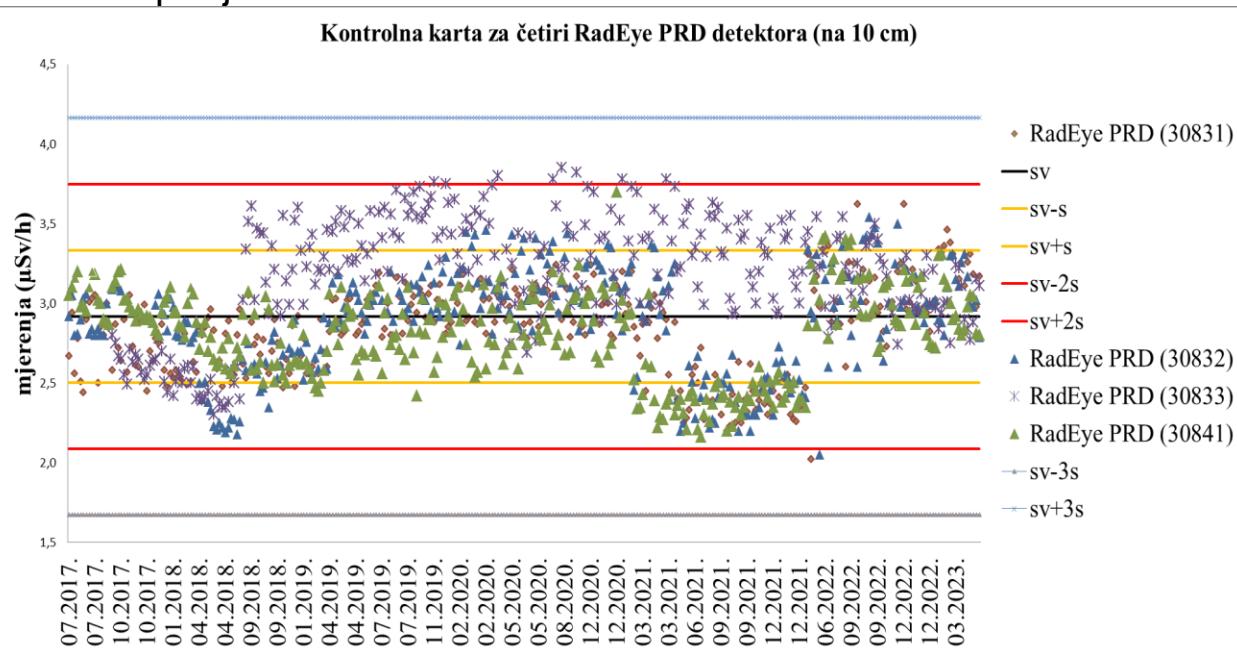
- [1] SRPS ISO/IEC 17025:2017, Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorijska za etaloniranje.
- [2] TCS No. 24, Quality System Implementation for Nuclear Analytical Techniques, IAEA, Vienna, 2004.
- [3] A. Kandić, B. Šešlak, I. Vukanac, M. Đurašević i Z. Milošević, Analiza stabilnosti rada HPGe spektrometra u okviru interne kontrole kvaliteta, 8. Simpozij Društva za zaštitu od zračenja, 13-15. travnja 2011, Grad Krk, Otok Krk, 468-473.
- [4] A. Samolov, A. Kandić, I. Čeliković, M. Đurašević i T. Milanović, Internal Quality Control of the HPGe spectrometer stability, X INTERNATIONAL CONFERENCE IcETRAN, 05 – 08.06.2023, East Sarajevo, B&H, NTI1.1, 1-4.
- [5] A. Samolov , A. Kandić , M. Đurašević, I. Čeliković, T. Milanović, M. Erić, I. Vukanac, Internal Quality Control as an Important Part of Radiological Analysis of Environmental Samples Using Semiconductor HPGe Spectrometry, 36th International Congres on Process Industry Procesing '23, 01-02.06.2023, Šabac, Serbia, 62.
- [6] Genie 2000, Version 3.3 softwear manual.

GODIŠNJA KONTROLA DETEKTORA INSPECTOR 1000 I RADEYE PRD

Andela VEŠOVIĆ¹, Aleksandra MILATOVIĆ¹, Nikola SVRKOTA¹,
Benard BERIŠAJ¹

1) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

- U radu su prikazani rezultati mjerenja $H^*(10)$ koja su izvršena pomoću instrumenata InSpector 1000 i RadEye PRD, na udaljenosti 10 cm i 20 cm od izvora, u sklopu redovne kontrole detektora.
- Dat je grafički prikaz zavisnosti $H^*(10)$ od vremena za obje vrste detektora.
- Njihove kontrolne karte su upoređene. Takođe, upoređeni su rezultati mjerenja u grupi istih detektora.
- Dok je većina rezultata mjerenja u granicama opsega srednja vrijednost $\pm 2s$, primjećeno je i nekoliko odstupanja.



Zaključak: Najvjerojatniji razlog odstupanja nekih rezultata je promjena vrijednosti kalibracionog koeficijenta za date detektore. Razlog nejednakog grupisanja tačaka za dvije vrste detektora može biti razlika u njihovom odzivu. Shodno tome da se većina rezultata mjerenja nalazi u opsegu $sv \pm 2s$, a svi u opsegu $sv \pm 3s$, možemo zaključiti da detektori rade unutar prihvatljivih granica.





Upotreba FRAM softvera u analizi gama spektara nuklearnih materijala



A.Vraničar¹, J.Nikolov¹, M.Travar¹, N.Todorović¹

¹Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Trg Dositeja Obradovića 4 ,Novi Sad

²Univerzitet u Beogradu, Institut za fiziku u Beogradu, Niskofonska laboratorija za nuklearnu fiziku, Pregrevica 118, Beograd-Zemun

*e-mail: andrej.vranicar@df.uns.ac.rs

XXXII Simpozijum
DZZSCG
Budva, 04-06.10.2023.



Uvod

Na tržištu postoje komercijalni softveri koji se koriste za analizu nuklearnog materijala kao što su MGA++ i MGAU paketi. Oni su veoma pogodni i jednostavniji za korišćenje iz razloga što se celokupna izotopska analiza uranijuma i plutonijuma svodi na svega par koraka. Sa druge strane ovo je ujedno i njihova manja, sa stanovišta isksunijih gama-spektrometričara, budući da oni predstavljaju svojevrsnu crnu kutiju ("black-box"), odnosno korisniku ne daju slobodu da utiče na tok analize na bilo koji način. FRAM softver ovo čini mogućim, time što korisniku omogućava da analizu prilagodi potrebama konkretnog merenja [1].

FRAM softver

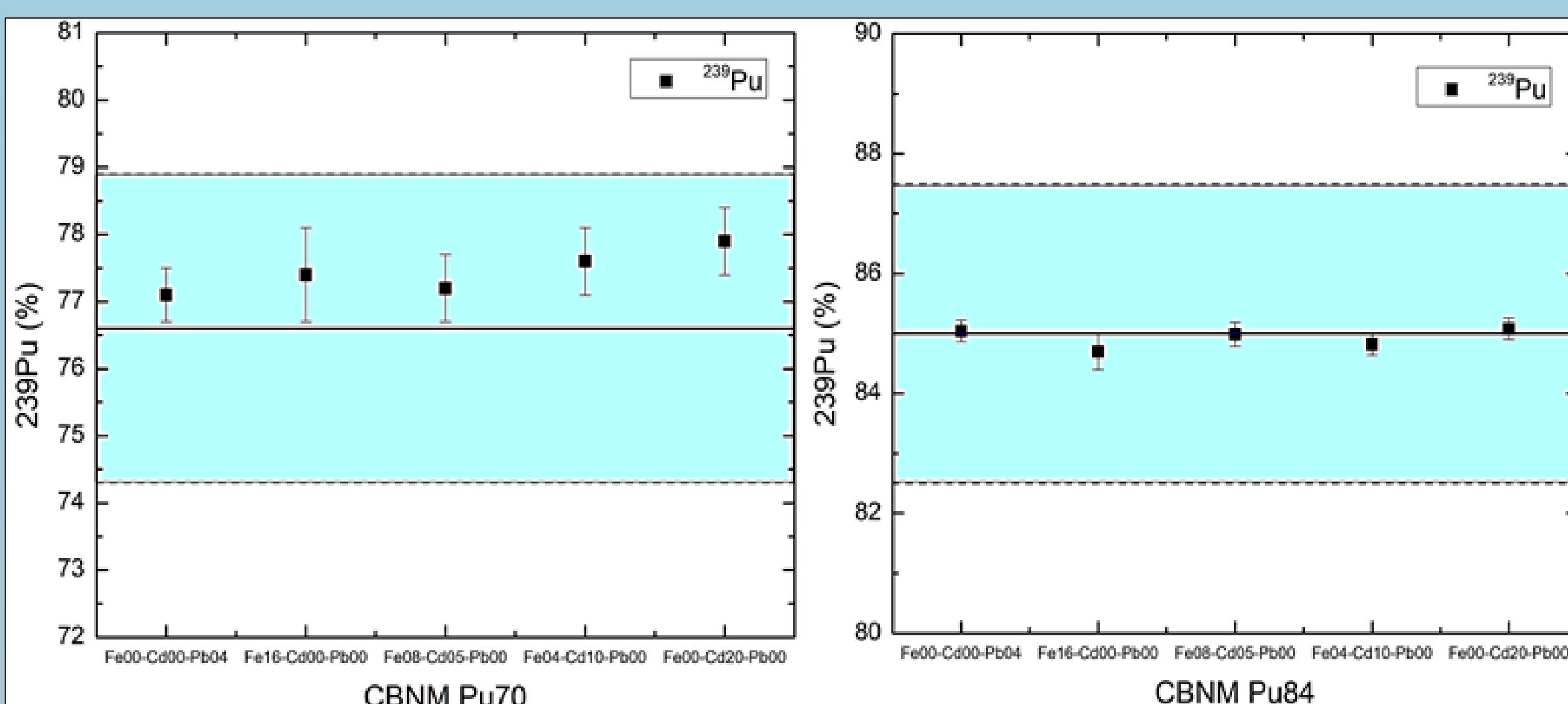
The Fixed-energy Response-function Analysis with Multiple efficiency (FRAM) je softverski kod koji je prvo bitno namenjen za rad sa poluprovodničkim HPGe detektorima visoke rezolucije. Ovaj softver je doživeo svoj razvoj sredinom 1980-tih godina u Los Alamos National Laboratory, a danas je komercijalizovan od strane firme Ametek ORTEC i Mirion TECHNOLOGIES (CANBERRA). FRAM služi za analizu gama spektara od uzorka koji sadrže plutonijum i/ili uranijum. Unutar ovih spektara se nalaze sve potrebe informacije kako bi softver proračunao izotopske zastupljenosti (odnose) radionuklida prisutnih u merenom uzorku, nezavisno od oblika, dimenzija, veličine i fizičkog i hemijskog sastava uzorka kao i merne geometrije i karakteristika kontejnera uzorka. Rezultati se dobijaju koristeći samo podatke sadržane u spektru i fizičke konstante. Drugim rečima, za analizu FRAM softverom i dobijanje rezultata, kao što su izotopska zastupljenost i kalorimetrijski podaci (snaga proizvedena fisijom specijalnih nuklearnih materijala), nam nije potrebna niti energetska niti kalibracija za efikasnost detekcije. FRAM kod je strukturiran na takav način da korisniku pruži onoliko kontrole koliko želi nad analizom kako bi se povećala svestranost i primenljivost ovog softvera. Ovo se postiže korišćenjem setova parametara, koji sadrže sve parametre potrebne za analizu datog gama spektra. To uključuje informacije o izotopima koje treba analizirati, gama pikovima koje treba koristiti, nuklearne podatke za izotope i gama zrake, uslove prikupljanja podataka kao što su pojačanje (gain), nula (pole zero), broj kanala, regioni spektra za analizu i dijagnostički test parametara [2-5]. Formula koju FRAM softver koristi za kalkulaciju izotopskih odnosa data je jednačinom (1):

$$(1) \quad \frac{N^i}{N^k} = \frac{C(E_j^i)}{C(E_j^k)} \cdot \frac{T_{1/2}^i}{T_{1/2}^k} \cdot \frac{BR_j^i}{BR_j^k} \cdot \frac{RE(E_i)}{RE(E_k)}$$

gde je $C(E_j^i)$ površina fotopika j energije E_j emitovanog od strane izotopa i, $T_{1/2}^i$ period poluraspada izotopa i, N^i broj jezgara izotopa i, BR_j^i odnos grananja (broj zraka po raspadu) za gama zrak energije E_j izotopa i, dok je $RE(E_j)$ relativna efikasnost za detekciju fotopika energije E_j i ona uključuje efikasnost samog detektora, efekat samoapsorpcije unutar uzorka i atenuacije unutar materijala za pakovanje ili onih koji se nalaze između detektora i uzorka [5]. Potreba za odnosom efikasnosti eliminise probleme vezane za apsolutnu merenja efikasnosti detekcije kao što su reproducibilnost tačnih uslova merenja i geometrije i čini ovaj metod primenljivim na uzroke proizvoljnog sastava, veličine i oblika. Ključ za uspešnost bilo je inkorporiranje intrinsičnog samoodređivanja krive relativne efikasnosti iz samog gama spektra svakog uzorka. Uočeno je da se iz gama spektara uzorka može odrediti odnos relativnih efikasnosti na određenim energijama. Iz jednačine (1) (posmatrajući gama pikove jednog radioizotopa) može se videti da je količnik površine fotopika date energije E_j i odnosa grananja istog srazmeran efikasnosti na energiji E_j :

$$(2) \quad \frac{C(E_j^i)}{BR_j^i} \propto \left[\frac{N^i \ln 2}{T_{1/2}^i} \right] \cdot \varepsilon(E_j)$$

Iz jednačine (2) sledi da ovaj količnik definisi oblik krive relativne efikasnosti kao funkcije energije. Za određivanje relativne efikasnosti se mogu koristiti gama pikovi od različitih izotopa, dokle god oni u uzorku imaju istu fizičku distribuciju. Krive od različitih izotopa iste fizičke distribucije imaju isti oblik, samo se razlikuju po amplitudi, koja je okarakterisana članom u uglastoj zagradi u jednačini (2).



Slika 1: Maseni udeli ^{239}Pu u materijalima CBNM Pu70 (levo) i CBNM Pu84 (desno) za različite kombinacije atenuatora



Zahvalnica i literatura

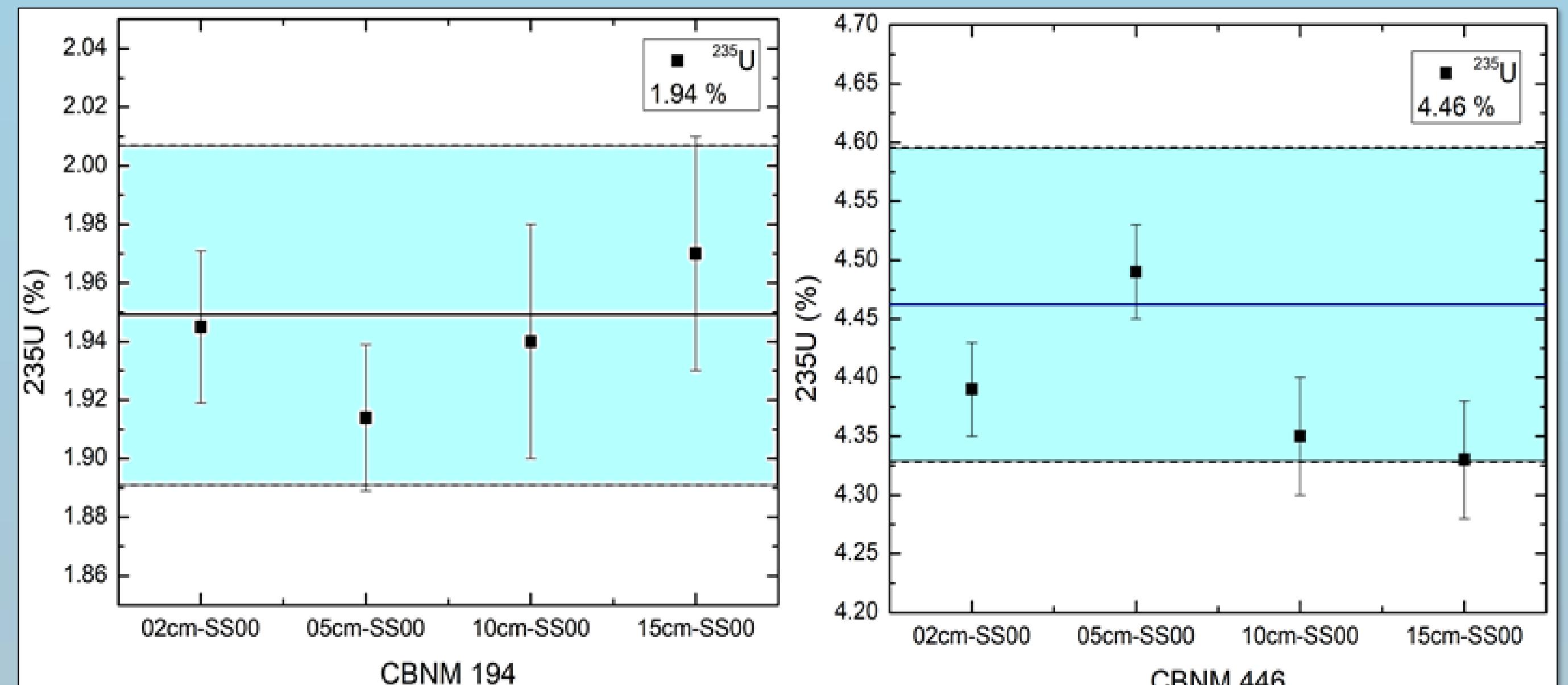
Ovaj rad je realizovan kroz finansijsku podršku Međunarodne agencije za atomsku energiju preko IAEA CRP projekta 23159/RO i Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ev.br. 451-03-47/2023-01/200125).

- [1] Andrej Vraničar, Razvoj i unapređenje nedestruktivnih metoda analizu radioaktivnog i nuklearnog materijala, Doktorska disertacija, Novi Sad, 2023.
- [2] J. Zsigrai et al., Using FRAM to determine enrichment of shielded uranium by portable electrically cooled HPGe detectors," in Proceedings of the 39th ESARDA Annual Meeting, 2017, pp. 80-86.
- [3] ORTEC FRAM Plutonium and Uranium Isotopic Analysis Software V6.1, ORTEC /Ametec,2022
- [4] T.E. Sampson, Using the FRAM Plutonium Isotopic System for 242Pu Isotopic Verification, Los Alamos National Laboratory Report LA-11744-M, 1992
- [5] T.E. Sampson, PLUTONIUM ISOTOPIC ANALYSIS USING PC/FRAM, Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-03-4403, 2003
- [6] EC Certified Nuclear Reference Material 171, Certificate of Analysis, Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Central Bureau for Nuclear Measurements, Geel, 1985.
- [7] CBNM Nuclear Reference Material 271, Certificate of Analysis, Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Central Bureau for Nuclear Measurements, Geel, 1989
- [8] J. Zsigrai et al., Collection of medium-resolution gamma spectra of certified U reference materials, European Commission JRC Technical reports, 2015, DOI: 10.2789/052375
- [9] J. Zsigrai et al., Collection of medium-resolution gamma spectra of certified Pu reference materials, European Commission JRC Technical reports, 2015, DOI: 10.2789/382595

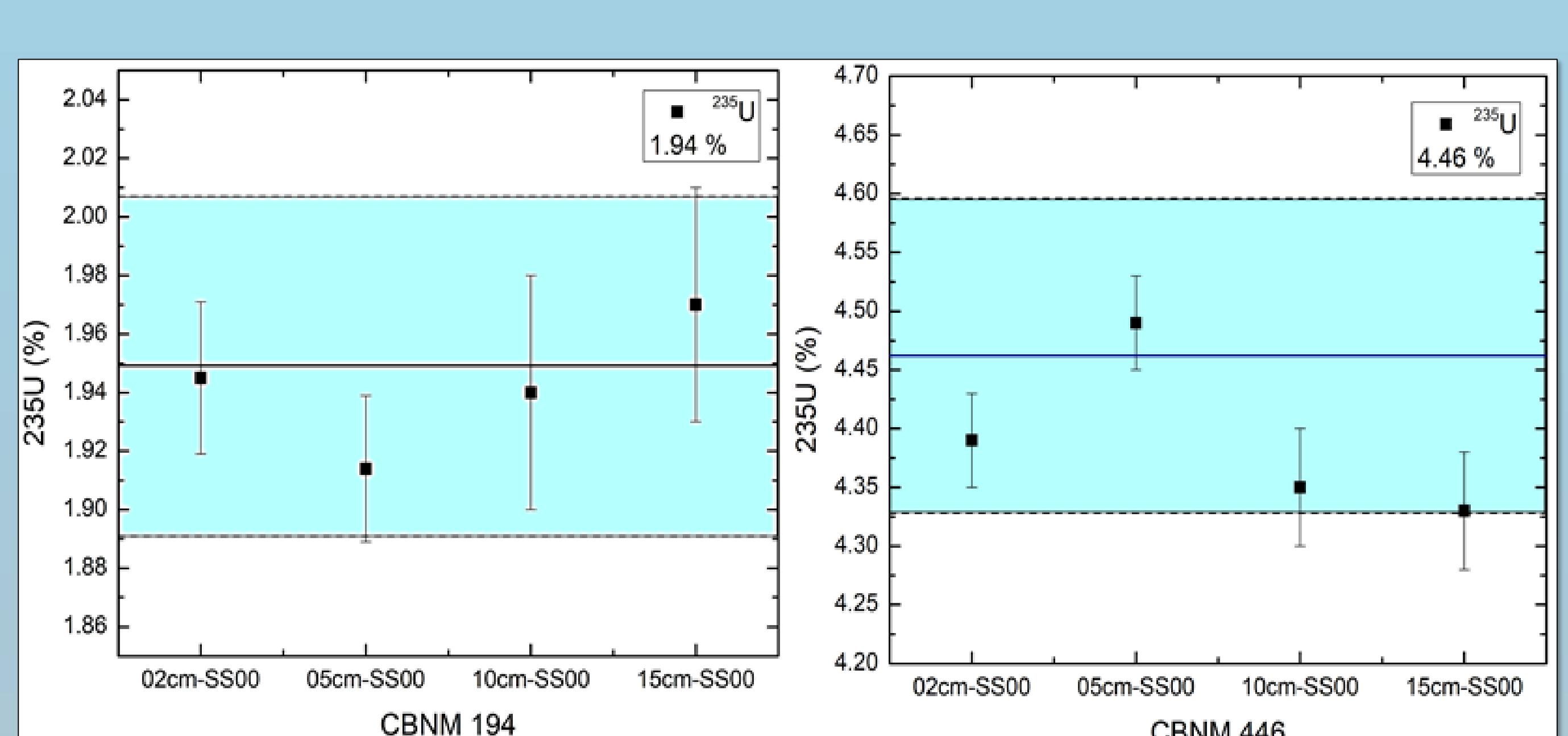


Diskusija i zaključak

U slučaju plutonijumskih spektara, odnosno njihove analize, referentne vrednosti masenih udele Pu-239 morale su biti korigovane na raspad i prilagođene načinu na koje FRAM softver računa masene udele. Merne nesigurnosti date u [7] i prikazane na slici 1 su izrazito male, budući da su ove vrednosti dobijene masenom spektrometrijom. Kao koridor greške referentne vrednosti masenog udeла Pu-239, usled toga je, na graficima prikazanim na slici 1 uzeto da bude 3% vrednosti. Sa slike 1 može se zaključiti da su svi rezultati koje je dao softver FRAM u dobroj saglasnosti sa referentnim vrednostima, uzimajući u obzir pomenuti koridor greške merene vrednosti od 3%. Za potrebe analiza su spektri referentnih materijala snimani sa različitim kombinacijama atenuatora/zaštita od Cd, Fe i Pb u različitim debljinama, kako bi se ispitala mogućnost njihove primene kao efektivne zaštite od zračenja ali i materijala kontejnera. Kadmiјum se koristio kako bi atenuirao intenzivno gama zračenje energije 59.5 keV koje potiče od raspada Am-241, koji nastaje raspadom Pu-241, budući da intenzitet zračenja koji potiče samo od ovog radioizotopa može da bude veći od intenziteta zračenja koji potiče od svih izotopa plutonijuma zajedno. Ovo je logičan korak, uzimajući u obzir da ovo može značajno da utiče na tačnost FRAM analize. Što se tiče analize spektara uranijumskih standardnih referentnih materijala, koridor greške referentne vrednosti masenog udeла U-235, je takođe uzet da bude 3% vrednosti. Sa slikama 2 i 3 se može zaključiti da su svi rezultati koje je izbacio FRAM softver u dobroj saglasnosti sa referentnim vrednostima, uzimajući u obzir pomenuti koridor greške merene vrednosti. Zbog nemogućnosti merenja nuklearnih materijala u gama-spektrometrijskoj laboratoriji u Novom Sadu, u ovom slučaju su kroz naučno-istraživačku saradnju sa JRC Karlsruhe dobijeni snimljeni spektri referentnih uzoraka nuklearnih materijala. "Sirovi" gama spektri su obrađeni u softveru namenjenom za analizu nuklearnih materijala FRAM, koji, kao takav, predstavlja veoma moćan alat za analizu istih. Posebna pažnja je posvećena specifičnostima samih merenja materijala koji u sebi sadrže značajne koncentracije uranijuma odnosno plutonijuma. Upotreba FRAM softvera za analizu nuklearnog materijala nije trivijalna i sam način merenja i zaštita oko uzorka koja će se koristiti u mnogome mogu da utiču na dobijene rezultate, a sa druge strane značajni su i sa aspekta zaštite kako detektora tako i osoblja koje ovim uzorcima rukuje [1].



Slika 2: Maseni udeli ^{235}U u materijalima CBNM 194 (levo) i CBNM 446 (desno) za različite debljine atenuatora od gvožđa



Slika 3: Maseni udeli ^{235}U u materijalima CBNM 194 (levo) i CBNM 446 (desno) za različite udaljenosti od detektora, bez atenuatora

Kalibracija LSC detektora u okviru razvoja metode za merenje uranijuma u podzemnim vodama

J. Nikolov¹, S. Vuković², A. Vraničar¹, I. Stojković³, N. Todorović¹, S. Papović⁴, M. Vraneš⁴

¹Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Departman za fiziku, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad

²Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Karakaj 34a, Zvornik

³Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad

⁴Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Departman za hemiju, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad

*e-mail: jovana.nikolov@df.uns.ac.rs



XXXII Simpozijum DZZSCG
Budva, 04-06.10.2023.

Uvod

U okviru radiološke karakterizacije podzemnih voda, metoda kojom bi se dopunio spektar mogućih radioloških ispitivanja je svakako i merenje koncentracije uranijuma u podzemnim vodama, a tečni scintilacioni detektor Quantulus 1220 zbog svojih izuzetnih karakteristika pasivne zaštite omogućava merenje čak i izuzetno niskih koncentracija aktivnosti.

U radu su prikazani preliminarni rezultati razvoja metode tečne scintilacione spektrometrije (LSC) za merenje koncentracije uranijuma u podzemnim vodama. U okviru validacije metode u Laboratoriji za nuklearnu fiziku, PMF Novi Sad, primenjena je modifikovana standardna ISO 13169:2018(E) metoda. Umesto preporučenog scintilacionog koktela korišćen je drugi dvofazni scintilacioni koktel, a isto tako je i umesto preporučenog standardnog referentnog materijala korišćen drugi koji je dostupan u laboratoriji. Priprema kalibracionih uzoraka i blank uzoraka je obavljena prema preporukama iz standardne metode. U ovom radu biće prikazani rezultati podešavanja PSA (Pulse Shape Analysis) parametra koji pomaže u razdvajaju alfa od beta događaja i predstavlja prvi korak prilikom kalibracije LSC detektora.



Materijali i metode

U ovom istraživanju koristili smo tečni scintilacioni detektor Quantulus 1220TM. Zahvaljujući PSA (Pulse Shape Analysis), kolu omogućeno mu je simultano generisanje α/β spektra uzoraka. LSC metoda podrazumeva mešanje uzoraka vode sa scintilacionim koktelom i hemikalijom zaduženom za ekstrakciju uranijuma kao što je navedeno u ISO 13169:2018(E).

U ovom radu napravljena je modifikacija pomenute metode. Umesto preporučenog scintilacionog koktela korišćen je Mineral Oil. Umesto upotrebe dva različita standardna referentna materijala, alfa i beta emitera, u ovom slučaju korišćen je samo standard prirodnog uranijuma koji ima i alfa i beta emisije i on je u jednom slučaju posmatran kao alfa emiter a u drugom kao beta emiter. Pripremljen je uzorak sa scintilacionim koktelom, standardom prirodnog uranijuma i supstancom koja poboljšava proces ekstrakcije. Zapremina vode od koje se kreće je 500 ml. Dodatkom ekstraktora celokupna količina uranijuma biva izvučena iz vode i zarobljena u gušćoj fazi, a to je zapravo deo gde se nalazi scintilacioni koktel.



Zaključak

Tehnika tečne scintilacione detekcije se pokazala kao izuzetno dobra i pogodna za merenje uranijuma u vodi. Modifikacija i razvoj nove metode predstavlja korak ka boljem razumevanju i kontroli radioaktivne kontaminacije podzemnih voda. Prikazana metoda ima potencijal da postane standardna praksa u monitoringu vodnih resursa i zaštiti životne sredine. Dobijenim inicijalnim rezultatima u postupku kalibracije pokazano je da se modifikovana ISO metoda može koristiti za merenje uranijuma u podzemnim vodama. Dalja istraživanja će dati preciznije podatke. U planu je tetiranje i drugih dvofaznih scintilacionih koktela koji bi mogli da pokažu sličan odgovor, kao i određivanje efikasnosti detekcije.



Rezultati i diskusija

Da bi se omogućilo razlikovanje alfa od beta događaja u spektru, i dodatno smanjili pozadinski efekti, potrebno je pre početka merenja na detektoru podesiti analizator oblika impulsa PSA snimanjem

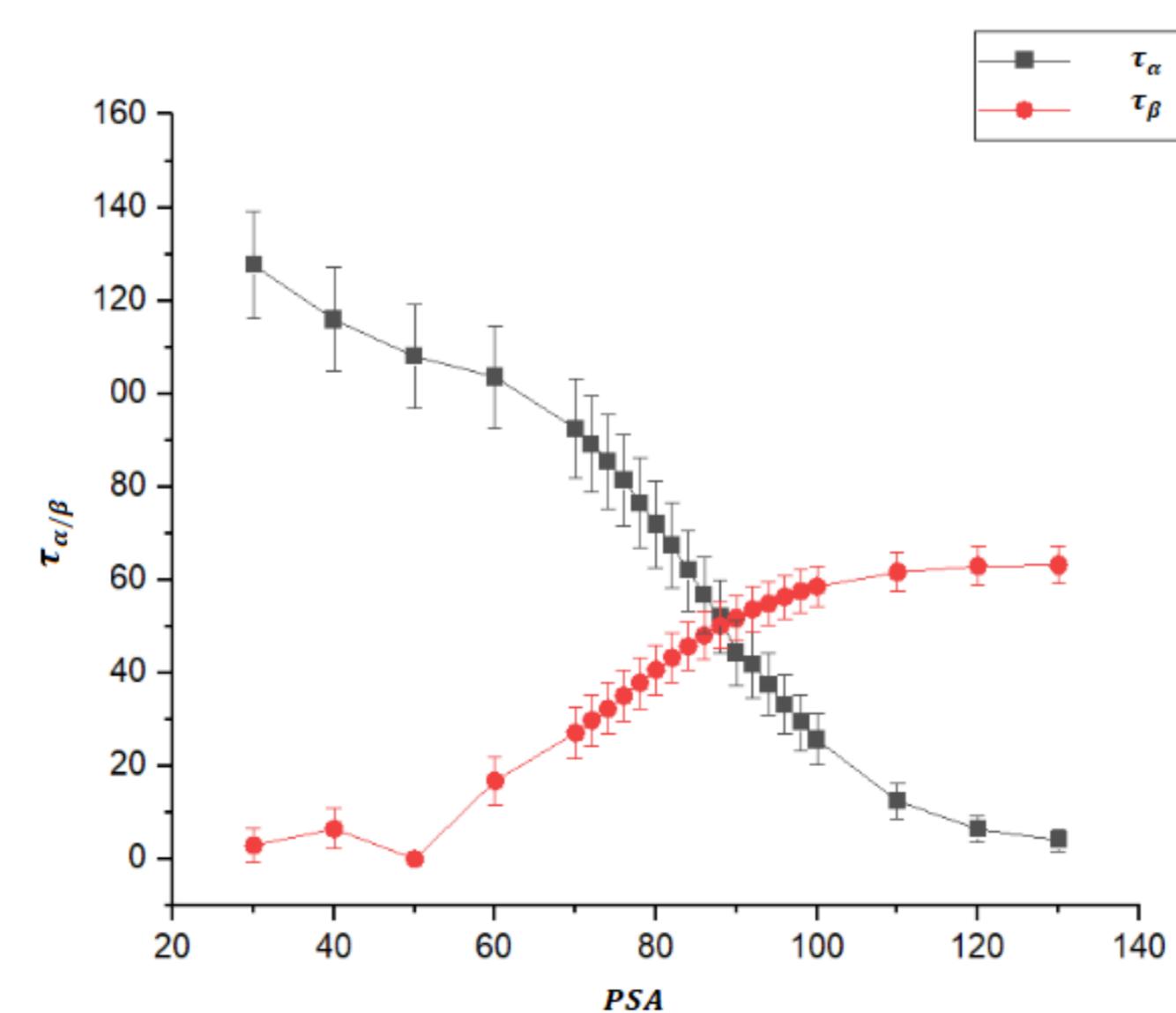
$\tau = f(PSA)$. Na osnovu dobijenih rezultata dobili smo vredost koju je potrebno podesiti prilikom daljih merenja sa scintilacionim koktelom Mineral Oil. Procedura kalibracije podrazumeva snimanje spektara standarda, u ovom slučaju korišen je standard prirodnog uranijuma sertifikovane aktivnosti od Češkog metrološkog instituta koji je u tečnom stanju. Pripremljen je uzorak prema proceduri iz ISO 13169:2018(E) metode uz dodatak male zapremine standarda kako bi se dobila nominalna aktivnost uzorka od 100 Bq u vialu od 20 ml. Ovako pripremljen uzorak meren je na različitim vrednostima PSA. Izabrani interval ispitivanja za PSA parameter je bio od 30 do 130 sa korakom 10. Optimalna PSA vrednost dobijena u ovom slučaju sa upotrebom dvofaznog scintilacionog koktela Mineral Oil proizvođača Perkin Elmer, dobija se iz preseka PSA krivih i u našem slučaju iznosi 89.



Zahvalnica i literatura

Ovaj rad je realizovan kroz finansijsku podršku Međunarodne agencije za atomsku energiju preko IAEA CRP projekta 23159/R0 i Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ev.br. 451-03-47/2023-01/200125).

- [1] S. Đurđević et al. Pijaće mineralne vode razvojna šansa Srbije, Print Company, Beograd, 2011, 22-37
- [2] S. Forkapić, Istraživanje gasovitih radioaktivnih produkata uranijuma i torijuma, doktorska disertacija, Novi Sad, 2013
- [3] O.S. Andreeva, et al. Natural and depleted uranium. Atomizdat, Moscow 1979 (in Russian).
- [4] Instrument Manual, Wallac 1220 Quantulus – Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer, 2005
- [5] INTERNATIONAL STANDARD, ISO 13169; Water quality-Uranium-Test method using alpha liquid scintillation counting; Switzerland, ISO 2018.
- [6] I. Stojković, Optimizacija tečnog scintilacionog spektrometra za ispitivanje alfa i beta emitera u vodama, doktorska disertacija, Novi Sad, 2015
- [7] Pereira, A.J.S.C. et al. Evaluation of groundwater quality based on radiological and hydrochemical data from two uraniferous regions of Western Iberia: Nisa (Portugal) and Ciudad Rodrigo (Spain). Environ Earth Sci 73, 2717–2731 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3500-6>



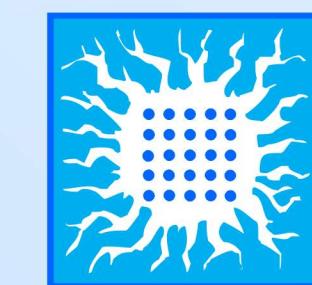
Slika 2: Podešavanje PSA parametra za merenje ukupne α/β aktivnosti (merenjem referentnih standarda uranijuma)

MERNA NESIGURNOST AMBIJENTALNIH FOTONSKIH DOZIMETARA U IMPULSNOM REŽIMU RADA SA POSEBNIM OSVRTOM NA UTICAJ OSETLJIVOSTI DETEKCIJE I VREMENA MERENJA



Društvo za zaštitu od zračenja
Srbije i Crne Gore

Miloš Đaletić



Institut "VINČA"
Laboratorija "ZAŠTITA"

**Institut za nuklearne nauke Vinča – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,
Laboratorijska zgrada za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija**

- Procena merne nesigurnosti rezultata merenja ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja značajna je za utvrđivanje adekvatnosti izabranog monitora zračenja i metode merenja. Neadekvatnim izborom monitora zračenja ili njegovim neoptimalnim korišćenjem, mogu se dostići velike vrednosti mjerne nesigurnosti. Uvek kad je moguće, treba izabrati odgovarajući monitor zračenja i mernu metodu.
- Stupanjem na snagu Pravilnika o aktivnim dozimetrima fotonskog zračenja koji se koriste u zaštiti od jonizujućeg zračenja propisani su zahtevi za aktivne dozimetre koji se koriste u funkciji zaštite zdravlja ljudi i životne sredine. Pravilnikom je propisana maksimalna dozvoljena energetska zavisnost: "*Energetska zavisnost se proverava u standardnim kvalitetima zračenja čija se srednja energija nalazi u energetskom opsegu definisanom od strane proizvođača. Zahtevi za odstupanje odgovora dozimetra za svaki kvalitet u odnosu na odgovor za referentni kvalitet su od -45% do +85%.*"
- Relativno je česta pojava da se uređaji koji služe za detekciju zračenja koriste kao ambijentalni dozimetri. Takvi uređaji imaju izraženu energetsku zavisnost koja je viša od propisane pravilnikom.
- U tabeli 1 date su specifikacije četiri odabrana instrumenta, dva sa Gajger-Milerovom detektorem i dva sa scintilacionim detektorem. Izražena je razlika između tipova instrumenata, posebno kod osetljivosti koja je značajno veća kod scintilacionih detektora. Energetska zavisnost je niska kod instrumenata koji se mogu koristiti kao dozimetri, dok je visoka kod onih koji se mogu koristiti samo kao detektori. Viša energetska zavisnost je i poželjna kod instrumenata klase detektora, jer je osetljivost detekcije viša i do deset puta za fotonsko zračenje nižih energija, pa se mogu uspešno otkriti i izvori niže aktivnosti.
- Osetljivost detekcije instrumenta utiče na vreme potrebno za merenje pri istoj relativnoj standardnoj devijaciji, što je prikazano u tabeli 2. Takođe, relativna standardna devijacija zavisi i od jačine doze.
- Na mernu nesigurnost utiču mnogi faktori, a najizraženiji su: energetska zavisnost, ugaona zavisnost, linearnost, kalibracioni faktor, rezolucija i ponovljivost merenja (relativna standardna devijacija).
- Iz tabele 1 na osnovu merne nesigurnosti može se zaključiti da se instrumenti DMRZ-M15 sa sondom S1 i kompenzacionim filterom P2 i Atomtex BDKG-04 mogu koristiti kao dozimetri, a uređaji Inspector EXP+ i Canberra SG-2R se mogu koristiti samo kao detektori zračenja, jer nisu energetski kompenzovani. Skidanjem kompenzacionog poklopca P2 sa sonde S1, povećava se osetljivost detekcije i omogućava se detekcija beta zračenja, kad se instrument koristi samo kao detektor, a ne kao dozimetar.

Tabela 1. Specifikacije monitora zračenja i njihova merna nesigurnost

Tip	DMRZ-M15 sa sondom S1 sa P2	Inspector EXP+	BDKG-04	SG-2R
Detektor	GM sa prozorom ø65 mm	GM sa prozorom ø45 mm	Plastic ø30 mm · 15 mm	Nal(Tl) ø50,8 mm · 50,8 mm
Osetljivost (Cs-137) [imp·s ⁻¹ po µSv·h ⁻¹]	8,9	5,5	70	1250
Merni opseg $\dot{H}^*(10)$	0,1 µSv/h - 1 mSv/h	0,1 µSv/h - 1 mSv/h	0,05 µSv - 10 Sv/h	0 µSv/h - 50 µSv/h
Energetski opseg	59 keV - 1,3 MeV	10 keV - 1,3 MeV	15 keV - 10 MeV	40 keV - 1,5 MeV
Energetska zavisnost	44,2 %	219 %	16,8 %	780 %
Kombinovana merna nesigurnost ($k = 2$)	53,0 %	254,1 %	21,1 %	901,8 %

Tabela 2. Relativna standardna devijacija i vreme merenja u zavisnosti od jačine ambijentalnog ekvivalenta doze

Relativna standardna devijacija [%]	$\dot{H}^*(10)$ [µSv·h ⁻¹]	Vreme merenja [s]			
		DMRZ-M15 sa sondom S1 sa P2	Inspector EXP+	BDKG-04	SG-2R
20	0,08	36	57	5	1
	0,5	6	10	1	1
	1	3	5	1	1
	5	1	1	1	1
10	0,08	141	228	18	1
	0,5	23	37	3	1
	1	12	19	2	1
	5	3	4	1	1
5	0,08	562	910	72	4
	0,5	90	146	12	1
	1	45	73	6	1
	5	9	15	2	1
2	0,08	3512	5682	447	25
	0,5	562	910	72	4
	1	281	455	36	2
	5	57	91	8	1

PRIPREMA RADIOAKTIVNIH STANDARDA ZA KALIBRACIJU GAMA SPEKTROMETARA

Ivana VUKANAC, Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Milica RAJAČIĆ, Jelena KRNETA NIKOLIĆ, Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ

Institut za nuklearne nauke Vinča, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju,

Univerzitet u Beogradu, vukanac@vinca.rs



Opisan je postupak pripreme radioaktivnih standarda

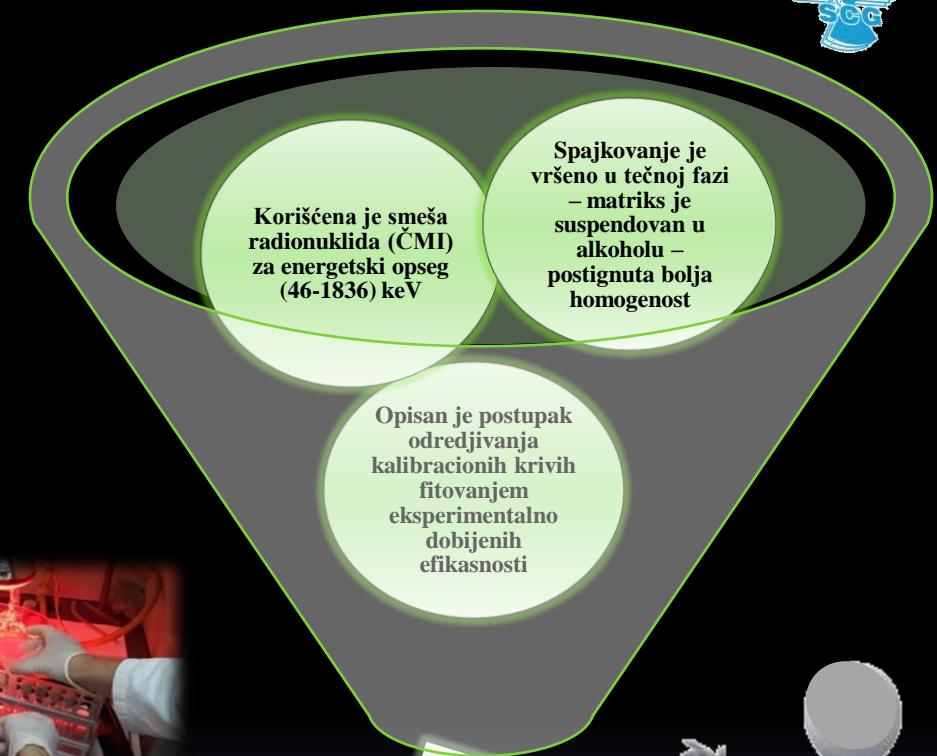
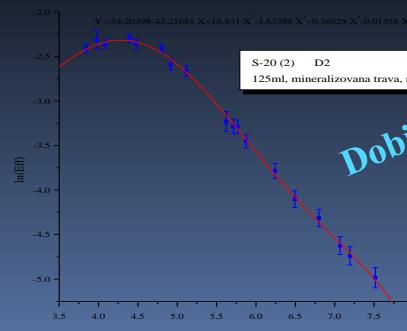
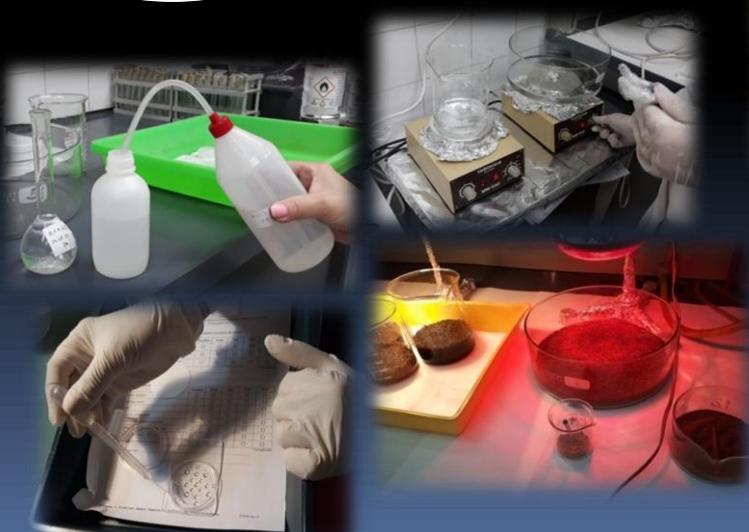
merenja na HPGe gama spektrometru

pakovanje standarda u odgovarajuću geometriju

izbor matriksa

priprema i spajkovanje sertifikovanim radioaktivnim rastvorom

provera homogenosti



Dobijene krive efikasnosti su proverene uspešnim učešćem u interkomparacijama



ANALIZA RASEJANJA ZRAČENJA OD ZAUSTAVLJAČA SNOPA KOD LINEARNIH MEDICINSKIH AKCELERATORA

Milomir MILAKOVIĆ^{1,2}, Nevena IGNJATOV², Nikola JOVANČEVIĆ²,

Miodrag KRMAR²

¹International Medical Centers Banja Luka, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

²Departman za fiziku, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

SAŽETAK

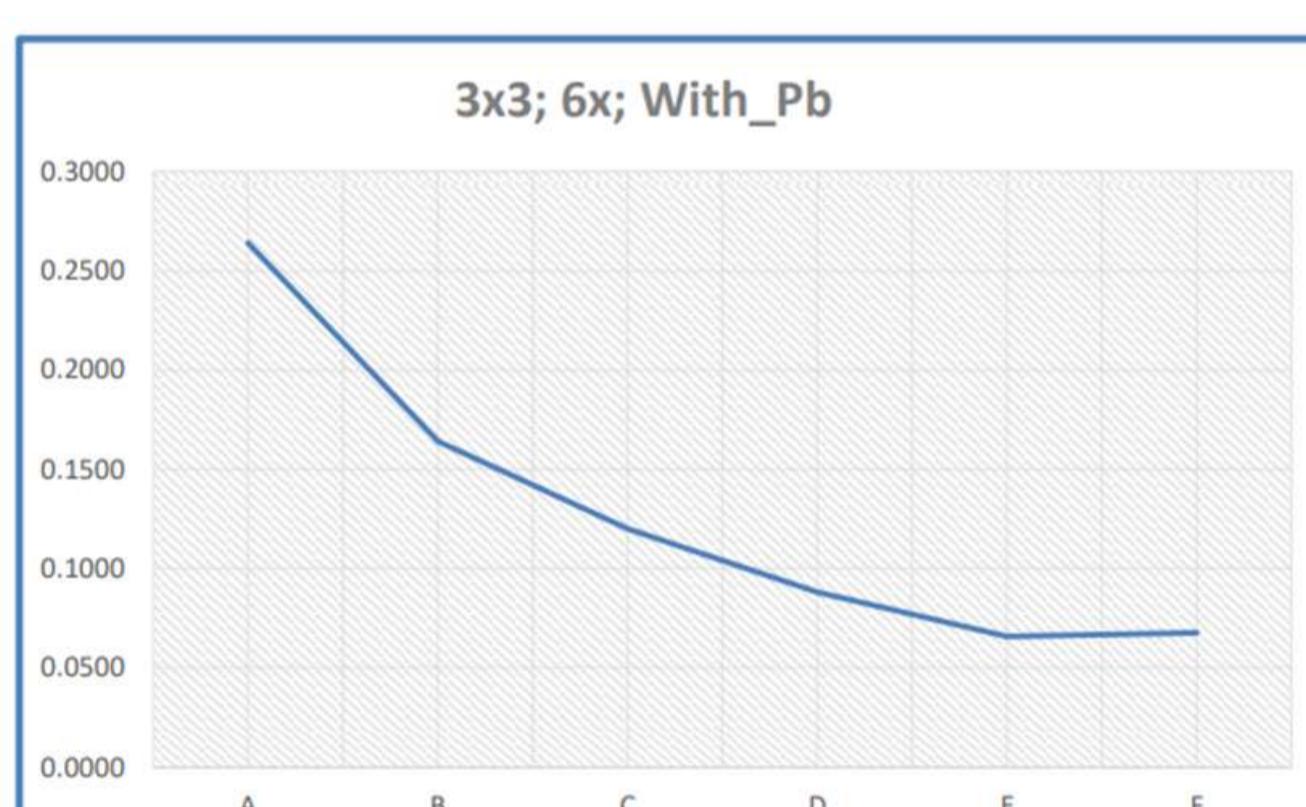
U ovom radu su izvršena preliminarna eksperimentalna istraživanja uticaja rasejanog zračenja od zaustavljača snopa na ukupnu dozu zračenja koju može primiti pacijent tokom terapijskog tretmana. Utvrđeno je da povećanje doze može iznositi oko 10% i dati su predlozi za buduća merenja.

Merenje

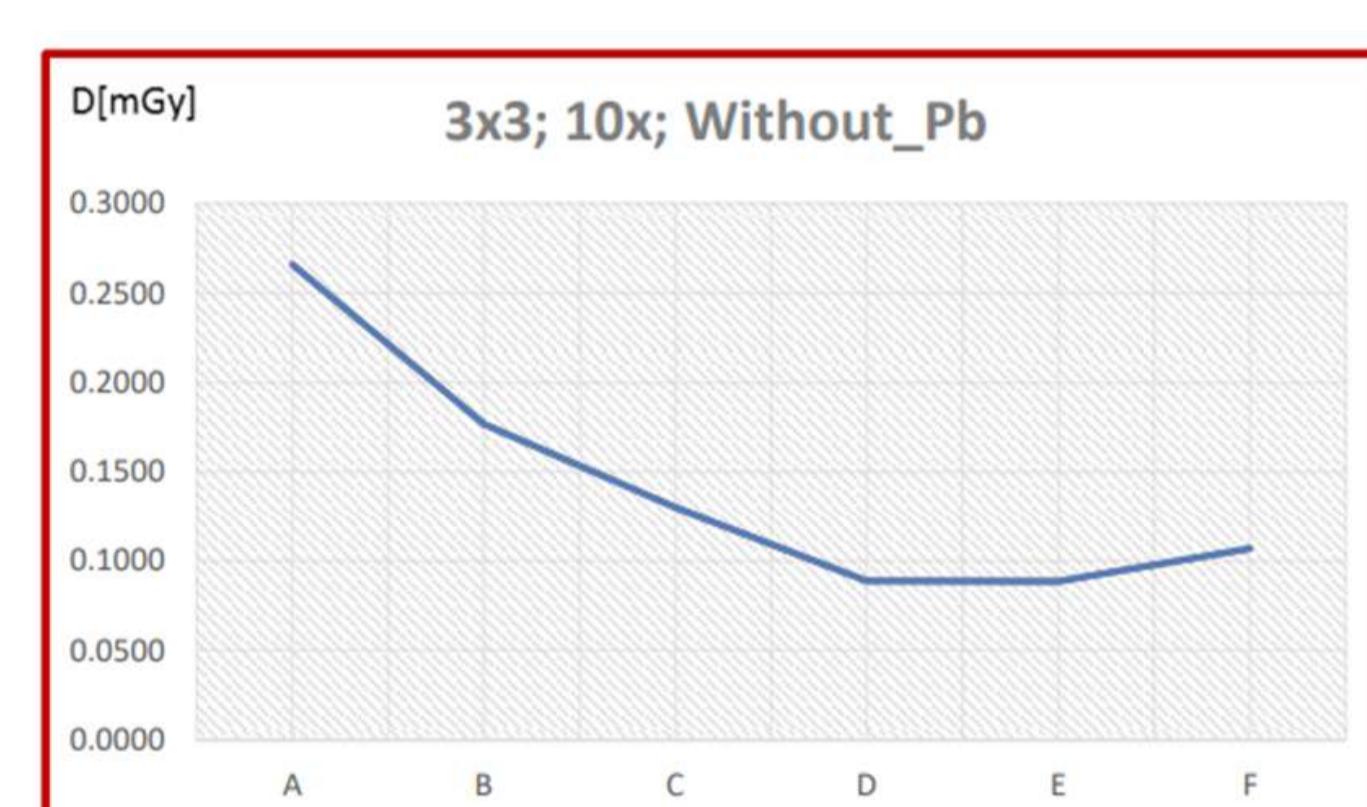
Eksperimentalna merenja su izvršena u Kliničkom centru Vojvodine u Novom Sadu. Korišćen je medicinski linearni akcelerator koji ne poseduje zastavljač snopa. Da bi se mogao ispitati uticaj rasejanog zračenja od zaustavljača snopa na dozu zračenja koju može primiti pacijent korišćeni su olovni blokovi dimenzija $5\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ koji su bili postavljeni u snop zračenja simuliraći zaustavljač snopa. Četiri ovakva bloka su bila postavljena na rastojanju od 90 cm od terapijskog stola (slike 1 i 2). Merenja su vršena sa i bez olovnih blokova da bi se mogao utvrditi eventualni doprinos rasejanog zračenja. Doza zračenja je merena duž terapijskog stola u tačkama kako je prikazano na slici 1. Rastojanje mernih tačaka od izocentra je: A=50 cm, B=60 cm, C=80 cm, D=100 cm, E=130 cm i F=180 cm. Za merenje doze zračenja korišćena je ionizaciona komora FC65-G sa buildup kapom prečnika 30 mm. Merenja su sprovedena pri dve maksimalne energije zračenja od 6 MeV i 10 MeV. Pri svakom merenju je emitovano 500 monitorских jedinica (MU). Ovakva postavka eksperimenta omogućava određivanje mogućeg uticaja rasejanog zračenja na apsorbovanu dozu zračenja, takođe omogućava analizu da li i u kolikoj meri rasejanje zavisi od energije zračenja i kakva je prostorna raspodela ovog uticaja.



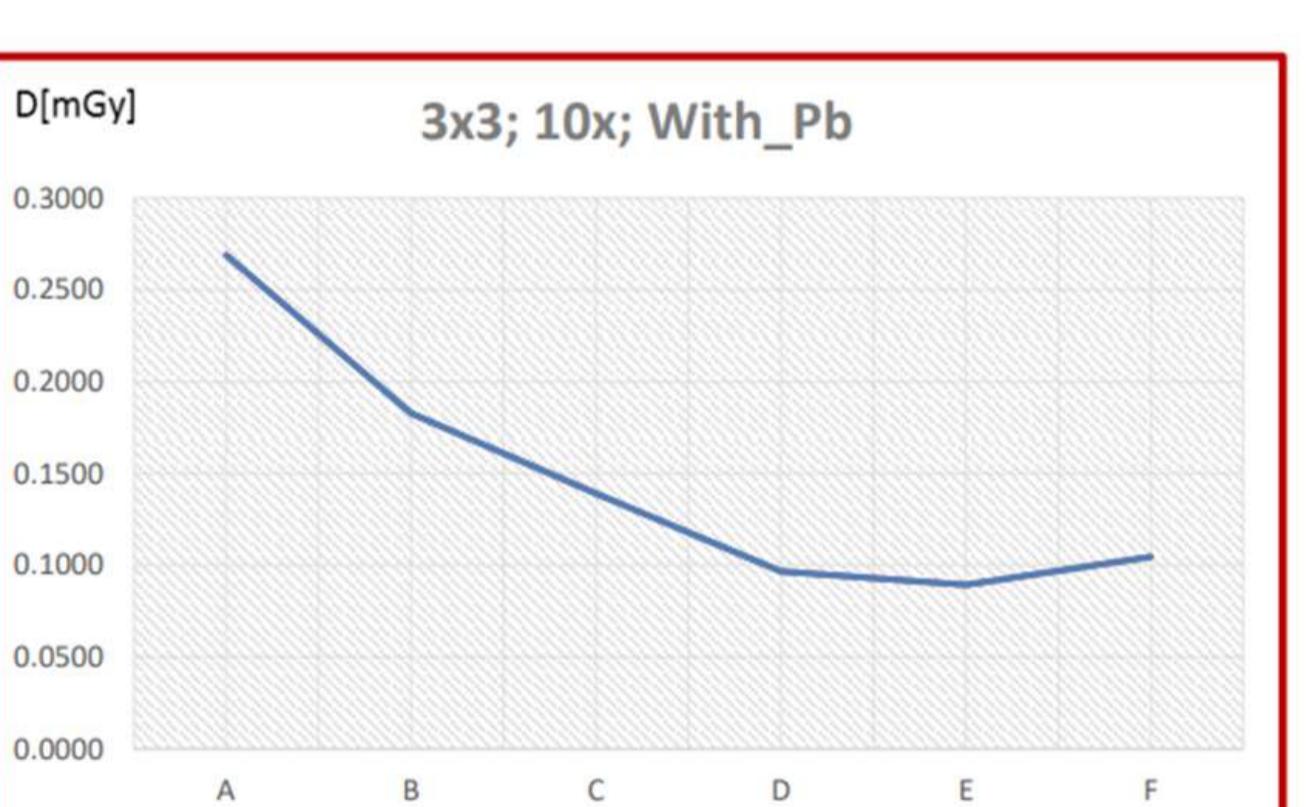
Slika 3: Izmerene doze, D [mGy] na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 6 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$ bez olovnih blokova.



Slika 4: Izmerene doze, D [mGy] na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 6 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$ sa olovnim blokovima.



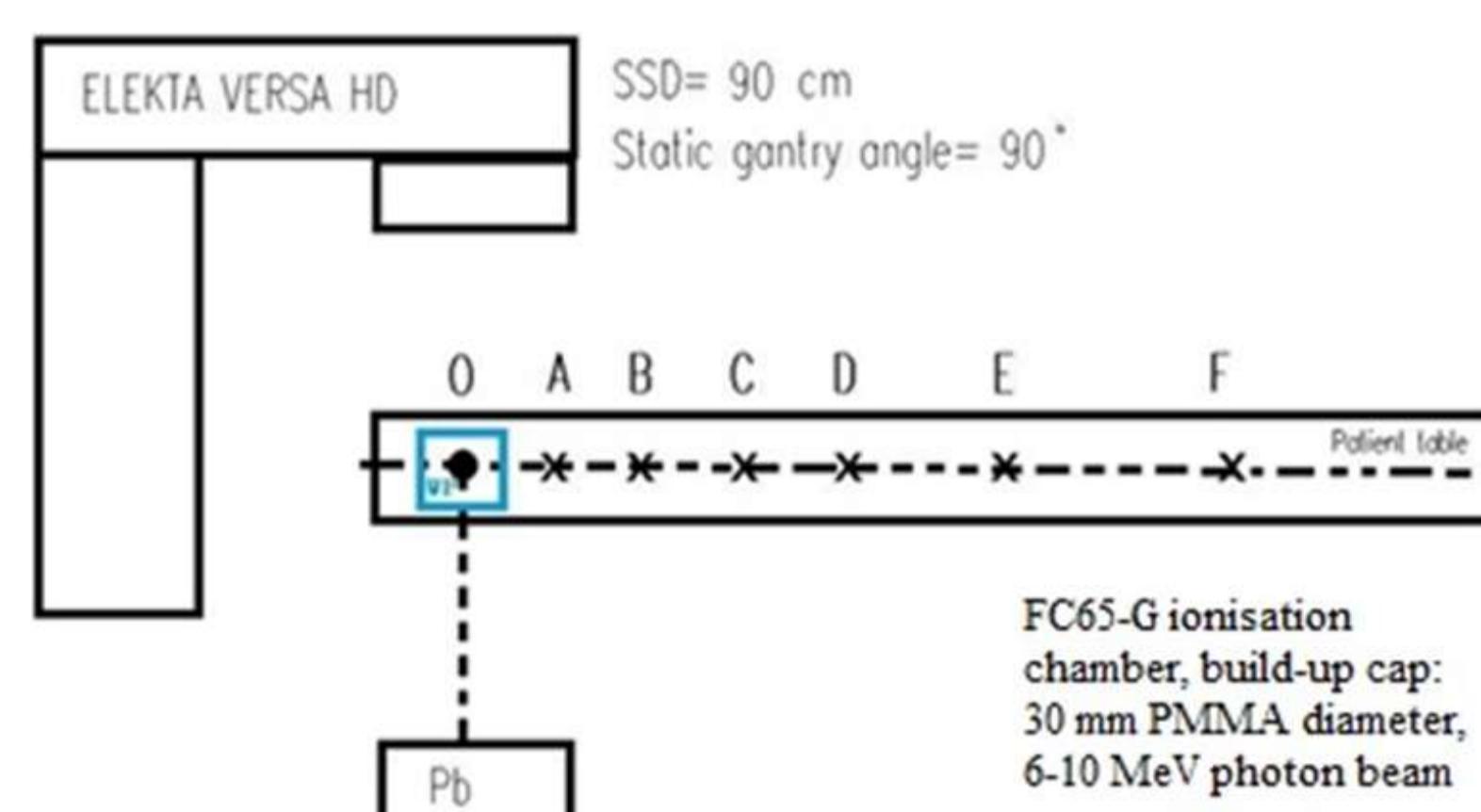
Slika 5: Izmerene doze, D [mGy] na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 10 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$ bez olovnih blokova.



Slika 6: Izmerene doze, D [mGy] na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 10 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$ sa olovnim blokovima.

Zaključak

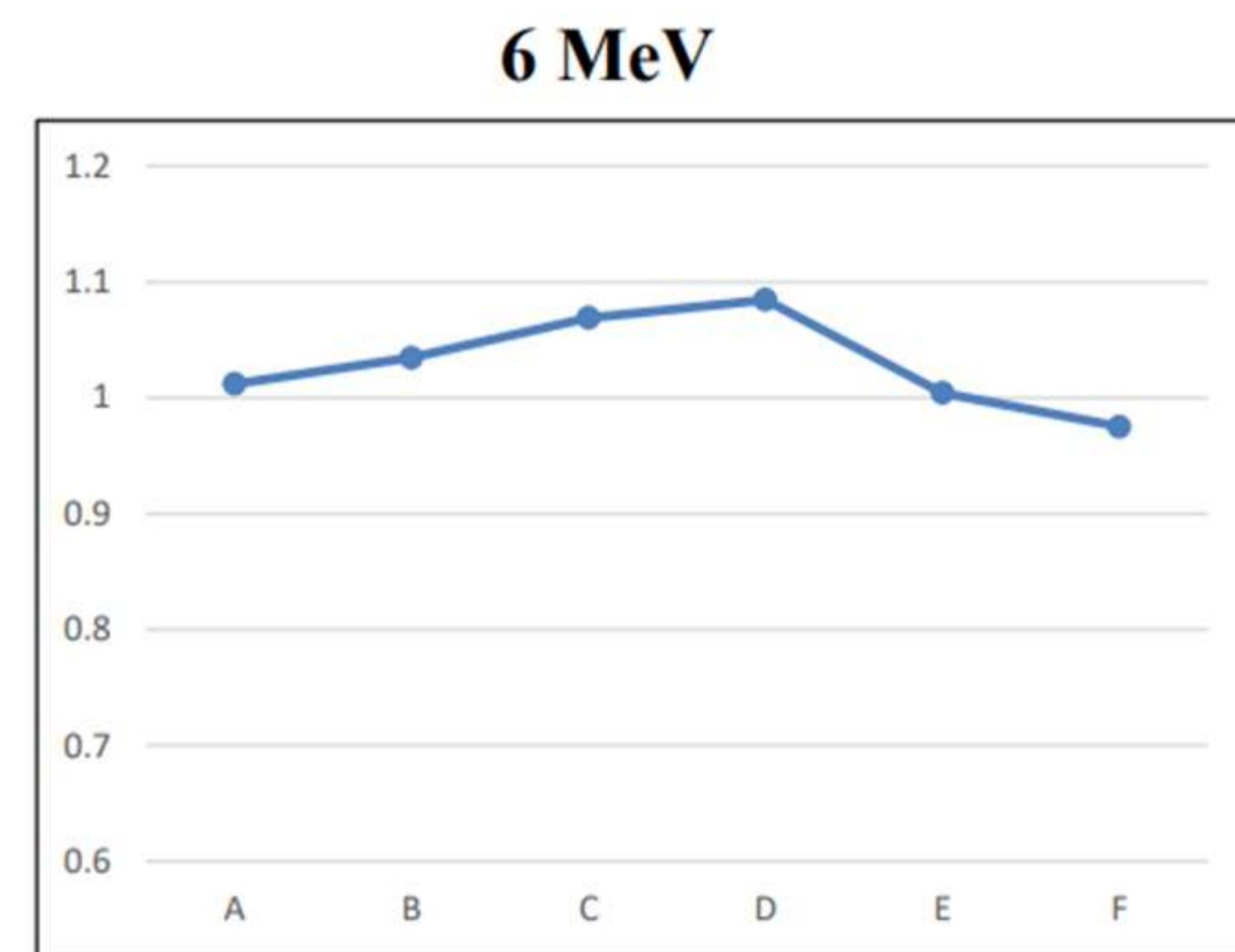
Dobijeni rezultati u ovom radu pokazuju da je i sa i bez prisustva olovnih blokova u snopu zračenja izmerena doza zračenja duž terapijskog stola opada sa rastojanjem od izocentra. Međutim, u slučaju prisustva olovnih blokova izmerene su doze zračenja koje su do 10% veće (slike 7 i 8). Zapaža se da se najveća razlika uočava pri rastojanjima od oko 50 cm od izocentra. Ovaj trend može biti objašnjen prostornom raspodelom rasejanog zračenja. Odnos izmerenih doza zračenja ima približno isti trend za energije zračenja od 6 MeV i 10 MeV. U oba slučaja se uočava ista razlika izmerenih doza sa i bez olovnih blokova, s tim što je pri energijama od 10 MeV izmerena neznatno veća doza.



Slika 1, 2: Šema eksperimentalne postavke sa obleženim mernim tačakama i eksperimentalna postavka

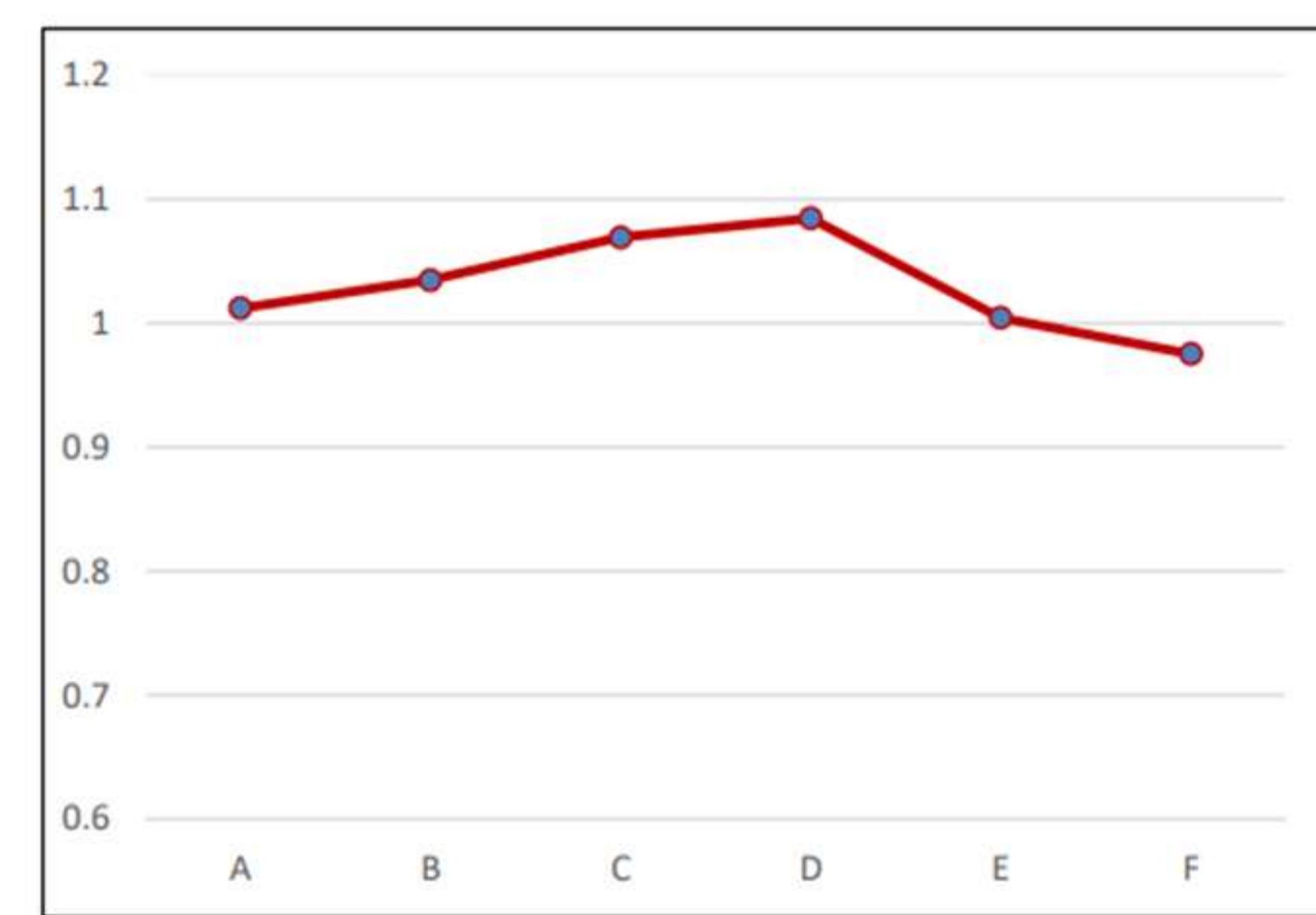
Rezultati

Rezultati dozimetrijskih merenja na različitim rastojanjima od izocentra, sa i bez olovnih blokova u snopu zračenja, kao i pri dve različite energije zračenja su prikazani na slikama 3, 4, 5 i 6. Odnosi izmerenih doza sa i bez olovnih blokova u polju zračenja prikazani su na slikama 7 i 8.



Slika 7: Odnos imerenih doza, sa i bez olovnih blokova na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 6 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$.

10 MeV



Slika 8: Odnos imerenih doza, R, sa i bez olonih blokova na različitim mernim tačkama, pri energiji zračenja od 6 MeV i veličini polja od $3 \times 3\text{cm}$.

Literatura

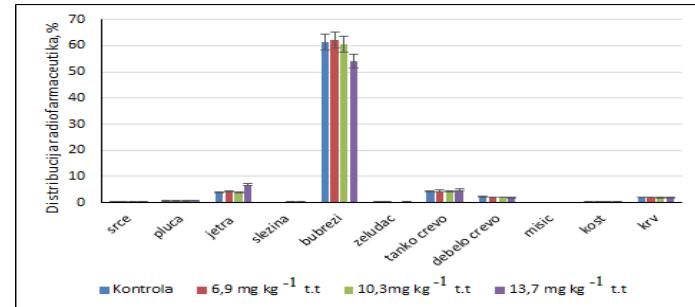
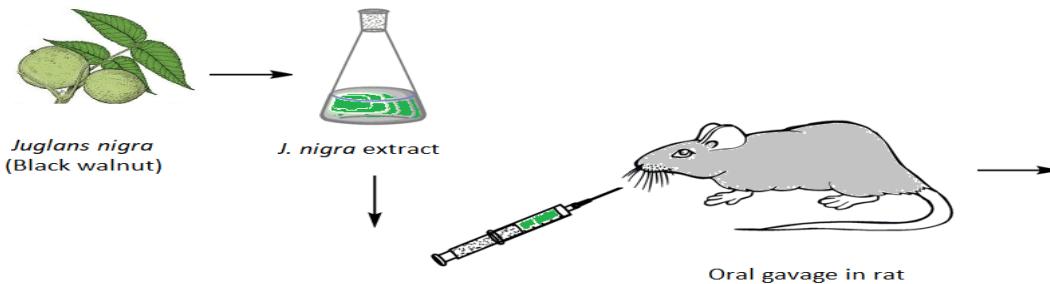
- [1] Kirstie Caravani, Rebecca Murry, Brendan Healy, Characterisation of in-room leakage and scattered radiation for the Varian Halcyon linear accelerator, Physical and Engineering Sciences in Medicine <https://doi.org/10.1007/s13246-021-01084-1>. 2021
- [2] Kry SF, Bednarz B, Howell RM, Dauer L, Followill D, Klein E, Paganetti H, Wang B, Wu CS, George XX (2017) AAPM TG 158: measurement and calculation of doses outside the treated volume from external-beam radiation therapy. Med Phys 44:e391–e429. <https://doi.org/10.1002/mp.12462>
- [3] Martin M, McGinley P (2020) Shielding techniques for radiation oncology facilities, 3rd edn. Medical Physics Publishing, Madison, WI

Eksperimentalni model za procenu mogućeg radioprotективnog efekta biljnog ekstrakta

Katarina M Rajković¹, Mirijana Đurešević², Zorica Obradović², Zorana Milanović², Aleksandar Vukadinović², Marko Perić², Dragana Stanković², Drina Janković²

1) Akademija vaspitačko-medicinskih strukovnih studija u Kruševcu, Odsek tehničko-tehnoloških studija

2) Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,



- Cilj rada je bio da se proceni radioprotективni efekat biljnog ekstrakta zelene ljuške crnog oraha.
- Primjenjen je eksperimentalni model koji se zasnivao na proceni uticaja biljnog ekstrakta na biodistribuciju Tc-99m-radiofarmaceutika po organima eksperimentalnih životinja (pacovi).
- Za pacove tretirane ekstraktom u dozi od 13,7 mg kg⁻¹ t.t. primećeno je značajno veće nakupljanje radiofarmaceutika u jetri, dok je niže u bubrežima, u poređenju sa kontrolnom grupom ($p<0,05$) (slika 1).
- Ekstrakt ljuške crnog oraha nije ometao dobijanje scintigrama visokog kvaliteta (slika 2).

Zaključak

Dobijeni rezultati ukazuju na potencijalnu upotrebu ovog biljnog ekstrakta kao radioprotektora u slučajevima planiranog izlaganja zračenju (scintigrafija). Postoji nekoliko problema povezanih sa kliničkom upotrebom radiofarmaceutika, jer mnogi faktori, kako spoljašnji tako i *in vivo*, mogu promeniti očekivanu distribuciju radiofarmaceutika. Po farmakopeji, dozvoljeno je nakupljanje radiofarmaceutika: u bubrežima više od 40%, a u jetri manje od 10%, tako da ekstrakt zelene ljuške crnog oraha u preporučenim koncentracijama (dnevna radioprotективna doza) ne remeti te procente i samim tim neće dovesti do postavljanja pogrešne dijagnoze.



Slika 2: Scintigrafi pacova: Tc-99m-DMSA kontrolne grupe (desno), Tc-99m-DMSA tretirane grupe (levo).

CT PROTOKOL I VRIJEDNOSTI DOZA ZA PREGLED UROGRAFIJE

Aleksandra MILATOVIĆ¹, Benard BERIŠAJ¹, Nikola SVRKOTA¹, Radule PETRUŠIĆ², Anđela VEŠOVIĆ¹

1) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

2) Opšta Bolnica Nikšić, Crna Gora

- Analizom je obuhvaćeno 25 odraslih pacijenata za protokol pregleda urografije.
- Akcenat istraživanja bio je na senzitivnim grupama pacijenata i visokodoznom pregledu CTU u 2 bolnice u Crnoj Gori.
- Podaci su sakupljeni u formi volumetrijskog CT doznog indeksa (CTDI_{vol}) i proizvoda doze i dužine (DLP).
- Doze izloženosti pacijenta u ovom radu su za nekoliko puta veće od preporučenih doza.
- Upotrebovi višefazne CTU (3-6 faza skeniranja) registruje se po nekoliko puta veća izloženost pacijenata nego što je neophodno.

Zaključak:

- Preporučuje se da se CTU protokol usvoji sa najviše 2 faze snimanja.
- Postoji značajan prostor za optimizaciju protokola CT snimanja i smanjenje izloženosti ionizujućem zračenju odraslih i pedijatrijskih pacijenata u Opštim bolnicama.
- Dijagnostičkoj radiologiji Crne Gore je neophodna optimizacija prakse.

Distribucija CTDI_{vol} i DLP

Bolnica	CTDI _{vol} (mGy)			DLP (mGy·cm)	
	X _{sr} ± sd (min-max)	mediana	Q ₃	X _{sr} ± sd (min-max)	mediana
A	11.3±2.2 (6.7-14.1)	11.9	12.3	3553±1134 (2213-5759)	3414
B	9.5±4.3 (5.7-17.8)	8.4	9.9	2395±869 (1164-3618)	2194



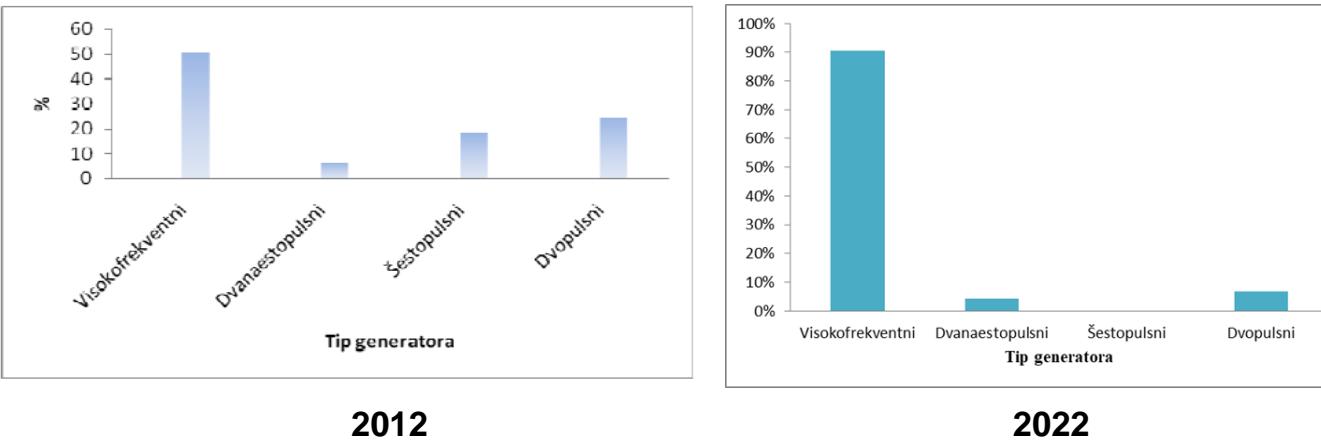
STANJE RENDGEN-APARATA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI U CRNOJ GORI

Benard BERIŠAJ¹, Aleksandra MILATOVIĆ¹, Nikola SVRKOTA¹, Anđela VEŠOVIĆ¹

1) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

Prikazano je stanje generatora rendgenskog zračenja, svih modaliteta snimanja, u Crnoj Gori u poslednjih 10 godina

- 2012. je bilo **68 %** analogne opreme od ukupnog broja rendgen-aparata
- 2022. je bilo **54 %** digitalne opreme od ukupnog broja rendgen-aparata
- Ubrzan prelazak sa analogne na digitalnu radiografiju, posebno u stomatologiji



Zaključak:

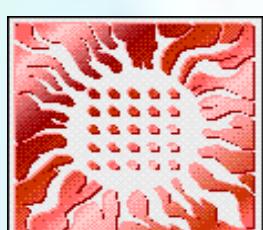
- Brzu digitalizaciju ne prati dovoljna i kvalitetna edukacija svih učesnika u kompletном pregledu pacijenata
- Očekujemo da u narednom periodu taj pomak bude još veći, a sve u cilju dobijanja što kvalitetnije dijagnostičke slike uz znatno smanjenje izlaganja populacije
- U dijagnostičkoj radiologiji postoji neophodnost pisanja pravilnika za dozimetrijske metode i njihovog usklađivanja sa evropskim preporukama



XXXII Simpozijum DZZSCG
Budva, 04-06.10.2023.

Zaštita od zračenja u medicini

VALIDACIJA ITLC METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA RADIOHEMIJSKE NEČISTOĆE C U ^{99m}Tc -MIBI INJEKCIJI



Drina JANKOVIĆ, Marija MIRKOVIĆ, Magdalena RADOVIĆ, Zorana MILANOVIĆ, Marko PERIĆ, Dragana STANKOVIĆ, Aleksandar VUKADINOVIĆ, Sanja VRANJEŠ ĐURIĆ



Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za radioizotope

Uvod

Evropska farmakopeja (Ph.Eur.) zahteva da svi radiofarmaceutici koji se koriste u nuklearnoj medicini u dijagnostičke i terapijske svrhe moraju biti odgovarajuće radiohemiske i radionuklidne čistoće i imati odgovarajuću radioaktivnost prisutnu u navedeno vreme primene da bi se obezbedilo da je planirano izlaganje zračenju pacijenata svedeno na minimum. Prisustvo radiohemiskih nečistoća utiče na fiziološku raspodelu injektovanog radiofarmaceutika tj. na kvalitet skena, jer se radiofarmaceutik nedovoljno nakuplja u organu od interesa, a pritom je velika aktivnost okolnih organa i tkiva. Zbog toga je i doza zračenja koju prime okolni organi i tkiva iznad dozvoljene.

Da bi se izbegla nepotrebna ozračenost okolnih organa i tkiva, farmakopeja zahteva ispitivanje sadržaja radiohemiskih nečistoća neposredno pre primene radiofarmaceutika u pacijenta. Za ova ispitivanja se koriste metode hromatografije.

U radu je predstavljena brza i osetljiva ITLC metoda namenjena za rutinsko ispitivanje sadržaja radiohemiske nečistoće C u ^{99m}Tc -MIBI injekciji. Hromatografski postupak je izведен uz korišćenje ITLC-SG trake kao stacionarne faze i 9 g/L rastvora natrijum hlorida R kao mobilne faze. ITLC metoda je validirana, a ispitivani su pogodnost sistema, tačnost, preciznost, ponovljivost, specifičnost, limit detekcije, limit kvantifikacije, linearnost, robustnost i osetljivost metode. Dobre "recovery" vrednosti i niska relativna standardna devijacija potvrđuju da je predložena ITLC metoda pogodna za rutinsko određivanje nečistoće C u ^{99m}Tc -MIBI u injekciji.

Eksperimentalni deo

U bočicu Kompleta za obeležavanje MIBI sa ^{99m}Tc (liofilizat, neradioaktivni radiofarmaceutski kit, Vinča) dodati 5 ml 9 g/L rastvora natrijum hlorida koji sadrži 700 do 900 MBq natrijum pertehnetat injekcije. Smeša se zagreva u vodenom kupatilu na 95°C u toku 30 minuta. Nakon toga, ohladi se do sobne temperature.

Za određivanje sadržaja nečistoće C, primenjena je instant tankoslojna hromatografija, kao stacionarna faza korišćene su ITLC-SG - trake 2x20 cm, dok je 0.9% rastvor NaCl korišćen kao mobilna faza.

Retencioni faktor Rf:

Rf = 0.0-0.1 (^{99m}Tc -MIBI, $^{99m}\text{TcO}_2$ -tehnecijum u obliku koloida, nepolarne nečistoće)

Rf = 0.3-0.4 (nečistoća C)

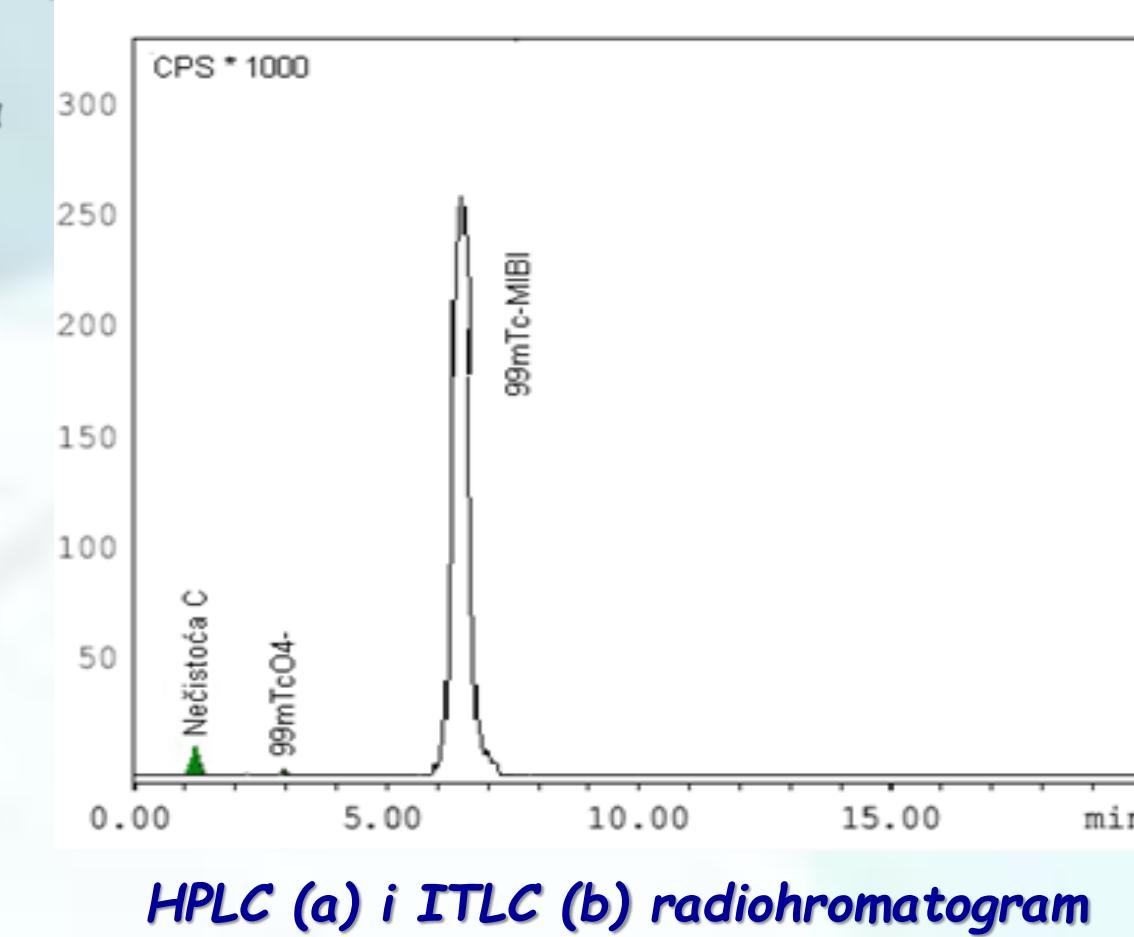
Rf = 0.9-1.0 ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ i ostale polarne nečistoće)

Za poređenje, istovremeno su snimljeni HPLC radiohromatogrami.

Za ispitivanje su korišćene po 3 ^{99m}Tc -MIBI injekcije iz različitih proizvodnih serija: 150122, 150222 i 150322.

Rezultati

Specifičnost



HPLC (a) i ITLC (b) radiohromatogram

Preciznost

Rezultati ponovljivosti (n=3)

Uzorci	Xsr	SD	%RSD
1	1.52	0.03	1.97
2	1.55	0.04	2.58
3	1.51	0.03	1.99
4	1.53	0.02	1.31
5	1.46	0.05	3.42
6	1.54	0.04	2.60

% RSD je manji od 10% a statističkom analizom rezultata (Studentov T-test za nezavisne uzorke) je potvrđeno da ne postoji značajna razlika, $p > 0.05$.

Rezultati ponovljivosti dva ispitivača (n=6)

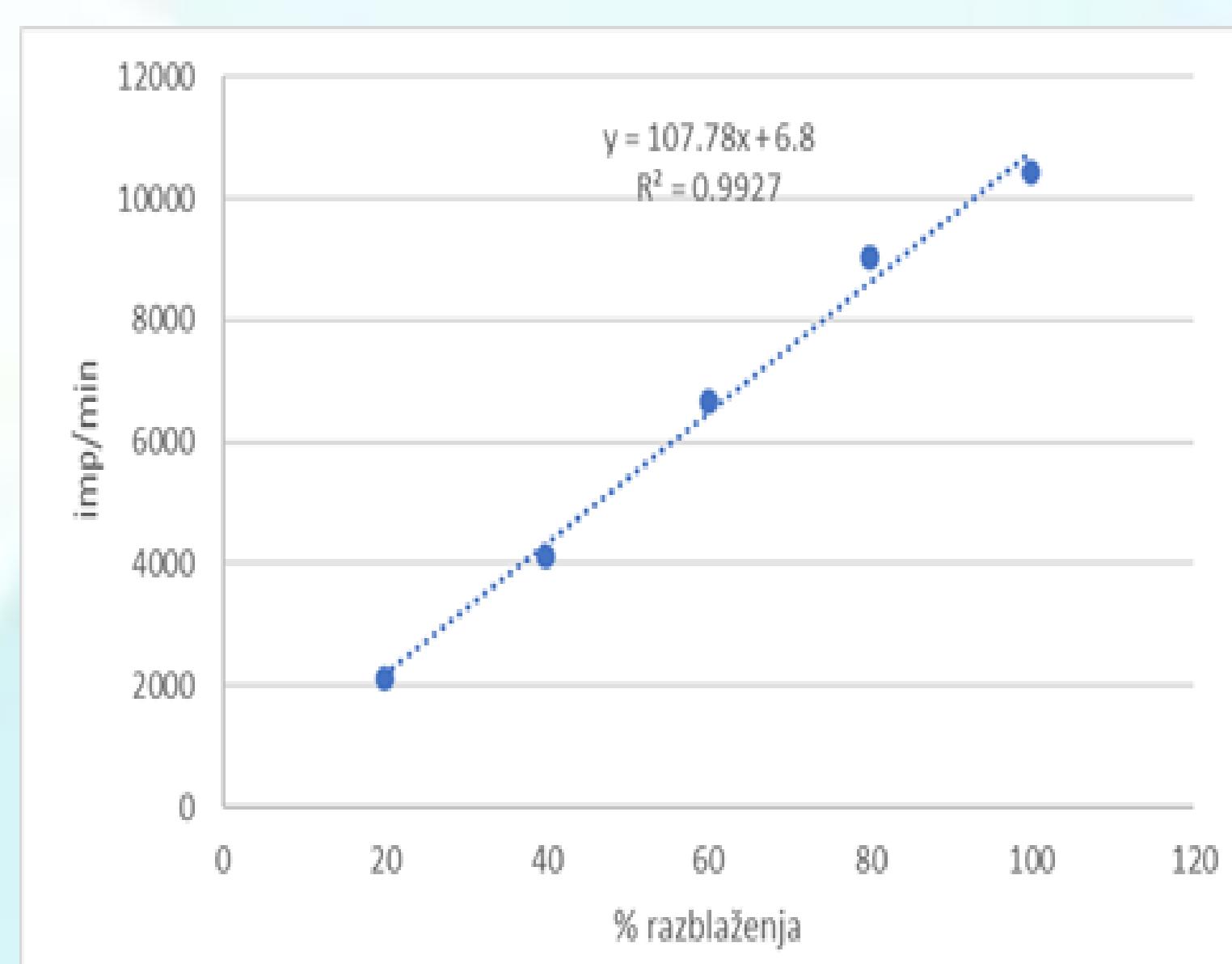
Ispitivač	Xsr	SD	%RSD
1	1.49	0.05	3.36
2	1.57	0.06	3.82

Studentov T-test za nezavisne uzorke: ne postoji statistički značajna razlika, $p > 0.05$

Granica detekcije i granica određivanja

Xsr	24.36
SD	4.32
3SD	12.96
Donja granica detekcije (LD)	37.32
Donja granica određivanja (LQ)	121,8

Linearnost



Koefficijent korelacije (r^2) je veći od 0,98.

Robusnost

Rezultati određivanja nečistoće C

	Xsr ± SD	% RSD
Odmah	1.57±0.06	3.82
Nakon 2 min	1.62±0.05	3.09
Nakon 5 min	1.59±0.03	1.89

Studentov T-test za nezavisne uzorke: ne postoji statistički značajna razlika, $p > 0.05$.

Tačnost ITLC metode

Serija	Injekcija	HPLC	ITLC	Recovery (%)
150122	1	1.14	1.21	106.14
	2	1.09	1.16	106.42
	3	1.05	1.14	108.57
150222	1	1.51	1.59	105.30
	2	1.55	1.62	104.52
	3	1.52	1.59	104.61
150322	1	1.01	0.99	98.02
	2	1.04	1.03	99.04
	3	1.09	1.02	93.58

Metoda se prihvata kao tačna, kada se srednja vrednost dobijenih rezultata za ITLC metodu nije razlikovala za više od 10 % od srednje vrednosti dobijenih rezultata HPLC metodom.

Diskusija i zaključak

Validacija ITLC metode za određivanje saržaja nečistoće C u ^{99m}Tc -MIBI injekciji je urađena u skladu sa zahtevima Ph.Eur., monografija 2.2.29. Ispitivane su tri serije ^{99m}Tc -MIBI injekcija i retaciona vremena u hromatogramima koja odgovaraju sadržaju nečistoće C i ^{99m}Tc -MIBI su u saglasnosti sa retacionim vremenima datim u farmakopeji Ph.Eur., monografija 1926. Faktor rezolucije je veći od 2 što ukazuje da su pikovi razdvojeni na baznoj liniji. Određivanje saržaja nečistoće C u ^{99m}Tc -MIBI injekciji ITLC metodom se može koristiti u svakodnevnom radu, a u skladu sa zahtevima Ph.Eur., 1926.

Određivanje saržaja nečistoće C u ^{99m}Tc -MIBI injekciji, i na osnovu dobijenih rezultata, donošenje odluke o primeni ovog leka u pacijenta, je veoma važno u cilju optimizacije zaštite pacijenta sprečavanjem nepotrebno visokog izlaganja zračenju organa koji nisu od interesa za ovu dijagnostičku proceduru. Takođe, ukoliko je sadržaj nečistoće C odn kvalitet ^{99m}Tc -MIBI injekcije u farmakopejski dozvoljenim granicama, verovatnoća dobijanja slike visokog kvaliteta je velika ako su ispunjeni i ostali uslovi karakteristični za ovu proceduru.

Zahvalnica

Istraživanja je finansiralo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ev. br. 451-03-68/2023-14/200017).

Literatura

1. International Conference of Harmonisation (ICH) Harmonised Tripartite Guideline—Validation of Analytical Procedures: Q2(R2), 2006.
2. S.N. Waghule, N.P. Jain, C.J. Patani, A.C. Patani. Method development and validation of HPLC method for determination of azithromycin. Der Pharma Chemica Vol. 5 No.4, 2013, 166-172, ISSN:0975-413X
3. European Pharmacopoeia, 9th ed. (Ph.Eur.9.0). Strasbourg, France: European Department for the Quality of Medicines & HealthCare (EDQM), Council of Europe, 2020.
4. C. Maioli, G. Lucignani, A. Strinchi, L. Tagliabue, A. Del Sole. Quality control on radiochemical purity in Technetium-99m radiopharmaceuticals labelling: three years of experience on 2280 procedures. Acta Biomedica Vol. 88 No.1, 2017, 49-56, ISSN: 2236-0867.

METODA ISPITIVANJA FIZIOLOŠKE RASPODELE ^{99m}Tc -DPD

Zorana MILANOVIĆ¹, Marija MIRKOVIĆ¹, Magdalena RADOVIĆ¹, Marko PERIĆ¹, Dragana STANKOVIĆ¹, Aleksandar VUKADINOVIĆ¹, Sanja VRANJEŠ-ĐURIĆ¹, Drina JANKOVIĆ¹

Institut za nuklearne nauke Vinca, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za radioizotope, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd, Srbija(zoranamilanovic89@gmail.com)

Ispitivanje fiziološke raspodele leka in vivo je od presudnog značaja jer od akumulacije leka u odgovarajućoj meri u ciljnom organu (skeletu) zavisi kvalitet dobijenog scintigrama, kao i doza zračenja koje će primiti pojedinačni organi i tkiva. Kako u farmakopeji ne postoji monografija za ^{99m}Tc -DPD, koriste se specifikacijske granice date za ^{99m}Tc -metilendifosfonat (^{99m}Tc -MDP).

DPD se obeležava dodatkom natrijum-pertehtnetata (^{99m}Tc) aktivnosti 1.4 mCi dobijenog iz $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generatora, na sobnoj temperaturi 30 minuta. Od pripremljenog rastvora ^{99m}Tc -DPD-a pravi se razblaženje. Dugogodišnje iskustvo u našoj laboratoriji je pokazalo da se najbolji rezultati biodistribucije na pacovima dobijaju kada je koncentracija DPD-a 70-80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ telesne težine, tj. da kontrola kvaliteta na eksperimentalnim životinjama zavisi od koncentracije DPD. Pri višim koncentracijama rezultati nisu pouzdani jer dolazi do velikog nakupljanja u jetri. Pacovima se injektuje po 0.1ml ražblaženog obeleženog leka u lateralnu repnu venu. Pacovi se žrtvuju nakon sat vremena, cervicalnom dislokacijom.

Radioaktivnost u uzorcima krvi, kao i u organima od interesa (pluća, jetra, slezina, bubrezi, mišić, femur) se meri u NaI (TI) gama brojaču (PerkinElmer 2480 WIZARD counter).



Slika 1. Scintigram skeleta pacova nakon 1h od i.v.injekcije ^{99m}Tc DPD

Analizom dobijenih rezultata dolazi se do zaključka da komplet ima reproducibilan obrazac biodistribucije. Nakupljanje u femuru je gotovo duplo veće od propisanih vrednosti, odmah nakon kao i 6 meseci od proizvodnje leka, dok je nakon 12 meseci nešto niže, ali ipak značajno iznad propisane vrednosti koja je neophodna za puštanje leka u promet. Nakupljanje u jetri je manje od 1%, nezavisno od vremena ispitivanja (Tabela 1.).

Tabela 1. Rezultati fiziološke raspodele ^{99m}Tc DPD odmah nakon proizvodnje, nakon 6 i 12 meseci

Ispitivanje fiziološke raspodele	(Eur.Ph.8 .0)	Rezultat nakon zahtev: proizvodnj e	Rezultat nakon 6 meseci	Rezultat nakon 12 meseci
-krv/g	<0.05%	0.03±0.01%*	0.03±0.01%*	0.03±0.01%*
-jetra	<1%	0.5±0.1%*	0.7±0.1%*	0.8±0.1%*
-kost/F	>1.5%	2.9±0.1%*	2.9±0.3%*	2.3±0.1%*
-kost/g	>1.5%	20.3±1.8%*	14.3±1.8%*	14.7±3.6%*

USPOSTAVLJANJE ETALONSKOG POLJA ZA MALE VREDNOSTI JAČINE DOZNOG EKVIVALENTA



Društvo za zaštitu od zračenja
Srbije i Crne Gore

Miloš ŽIVANOVIĆ¹, Ivana KOMATINA^{1,2}, Nikola KRŽANOVIĆ¹,
Miloš ĐALETIĆ¹, Srboljub STANKOVIĆ¹



Institut "VINČA"
Laboratorija "ZAŠTITA"

**1) Institut za nuklearne nauke Vinča – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija**

2) Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 10-12, Beograd

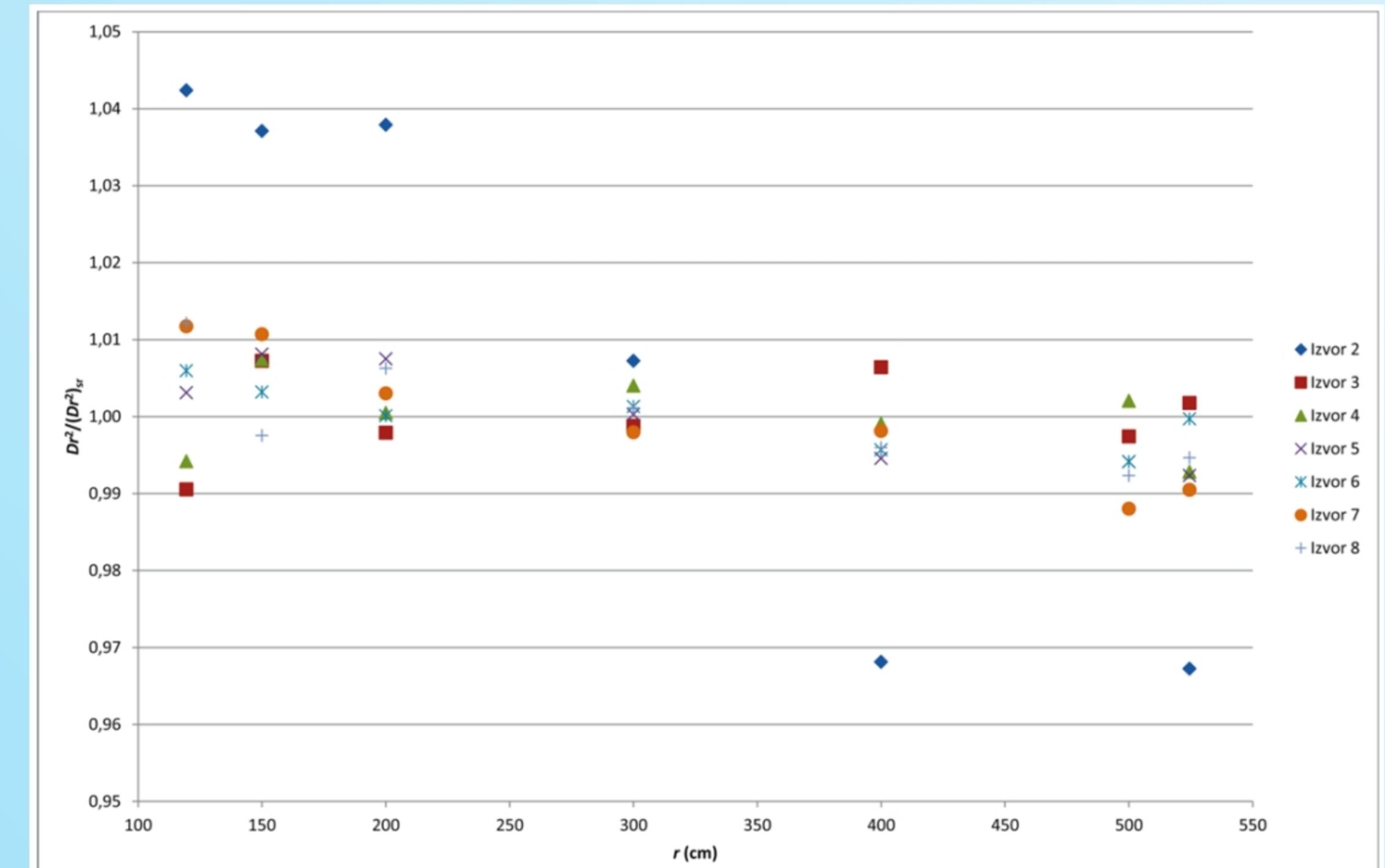
- Od 2023. godine, svi aktivni fotonski dozimetri za zaštitu od zračenja koji se koriste u Srbiji u funkciji zaštite zdravlja, zaštite životne sredine, za izdavanje rezultata merenja ili druge zakonske potrebe moraju biti overeni. S obzirom na to da merna nesigurnost referentnih vrednosti ulazi u grešku pokazivanja dozimetra, od kritičnog je značaja da merna nesigurnost etaloniranja polja bude što manja
- Dozimetri koji se koriste za zaštitu od zračenja se etaloniraju, ispituju ili overavaju u referentnim poljima zračenja uspostavljenim u skladu sa standardom ISO 4037-1:2019. Međutim, navedeni standard obuhvata samo jačine doza veće od 1 $\mu\text{Gy}/\text{h}$, dok se u praksi dozimetrijska merenja veoma često obavljaju pri jačini doze koja je oko prirodnog fona (oko 100 nSv/h). Merni opseg velikog broja instrumenata takođe pokriva i jačine doza koje nisu obuhvaćene standardom. Zbog toga se javlja potreba za etalonskim poljima koja prevazilaze obim standarda.
- Izazovi etaloniranja polja zračenja sa malim vrednostima jačine doze obuhvataju izbor merne instrumentacije (ionizacione komore referentne klase ne mogu da mere tako niske vrednosti), procenu merne nesigurnosti i tretman prirodnog fona koji može biti veoma značajan u ovakvim slučajevima.
- Laboratorija za etaloniranje poseduje nekoliko etalonskih polja ^{137}Cs i ^{60}Co , sa izvorima različitih aktivnosti. Sve aktivnosti i jačine doza su u ovom radu izražene na 24.4.2023. U laboratoriji su izmerene vrednosti prirodnog fona od 70 nSv/h do 90 nSv/h . Za etaloniranje u zaštiti od zračenja se koriste različita rastojanja od izvora do dozimetra, da bi se postigle različite jačine doza. Opseg jačina doza koji je moguće postići je od oko 70 nGy/h do 9 Gy/h za ^{60}Co , odnosno od 7 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ do 6 mGy/h za ^{137}Cs . U ovom radu je etalonirano polje koje se ostvaruje izvorom broj 2 (^{60}Co , nominalna aktivnost 6,7 MBq), dok je merilo korišćeno za etaloniranje izvora 2 etalonirano u polju koje se ostvaruje izvorom broj 3 (^{60}Co , 100 MBq). Korišćena su rastojanja između 119,5 cm i 524,5 cm. Pored toga, za analizu rezultata su korišćeni podaci vezani za etaloniranje izvora većih aktivnosti, broj 3, 4, 5 (^{60}Co), 6, 7 i 8 (^{137}Cs). Svi analizirani izvori se nalaze u identičnim nosačima, koriste identične kolimatore i identičnu kalibracionu klupu i prostoriju, pa razlike u doprinosu rasejanog zračenja mogu da potiču samo od različitih energija zračenja izotopa ^{60}Co i ^{137}Cs .
- Za etaloniranje polja izvora većih aktivnosti (uključujući izvor 3) su korišćene ionizacione komore PTW 32002, sa mernim opsegom iznad približno 18 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ i PTW 32003, sa mernim opsegom približno od 2,2 $\mu\text{Gy}/\text{h}$. Merni opseg je približan zato što je moguće meriti i niže vrednosti jačina doza u odgovarajućim uslovima: ako su elektrometar i kabl dovoljno visokog kvaliteta da se obezbedi niska struja curenja, ako je fon zračenja nizak i stabilan i ako je dovoljno dobra statistika, što se postiže povećanim brojem merenja.
- Za etaloniranje izvora 2 je korišćen scintilacioni detektor Automess 6150 AD-b. Ovaj dozimetar je korišćen zbog izuzetno niskog inherentnog fona (reda veličine 1 nSv/h), visoke osetljivosti i dobrih metroloških osobina. Scintilacioni detektor je etaloniran na 7 različitim rastojanjima u polju izvora 3 u veličini kerma u vazduhu, korišćenjem ionizacionih komora. Na svakom rastojanju je izvršeno po 10 merenja. Navedeni detektor nije konstruisan za merenje kerme u vazduhu, već ambijentalnog ekvivalenta doze, što znači da može da ima značajnu energetsku i ugaonu zavisnost. Međutim, s obzirom na to da oba izvora emituju zračenje iste energije i da su upadni ugao zračenja i geometrija bili identični, doprinos ovih uticaja se može zanemariti. Iz ovih etaloniranja je određena nelinearnost detektora, a stabilnost je određena iz istorijskih podataka o etaloniranju. Rezultati etaloniranja scintilacionog detektora prikazani su u tabeli 1.
- U drugom koraku je izvor 2 etaloniran na istim rastojanjima korišćenjem scintilacionog detektora, takođe sa 10 merenja po mernoj tački. Sve vrednosti su pomnožene kalibracionim faktorom određenim u prethodnom koraku i od svih vrednosti je oduzet fon, da bi se dobila vrednost kerme u vazduhu. Zatim je za svako rastojanje vrednost kerme u vazduhu pomnožena sa kvadratom rastojanja. Rezultat etaloniranja polja je srednja vrednost proizvoda kerme i kvadrata rastojanja, Dr^2 . Ovaj način etaloniranja polja se zasniva na pretpostavci da je proizvod Dr^2 približno konstantan. Do odstupanja od konstantne vrednosti dolazi zbog atenuacije gama zračenja u vazduhu (oko pola procenta po metru za ^{60}Co), kao i zbog rasejanog zračenja sa kolimatom i atenuatorom (ako se koristi), klupe, nosača, poda i zidova. Rezultati etaloniranja polja izvora 2 prikazani su u tabeli 2.
- Rezultati etaloniranja svih izvora iz 2023. godine za različita rastojanja, normirani na srednju vrednost ($Dr^2/(Dr^2)_{sr}$), su prikazani na slici 1. Iz rezultata se vidi da su rezultati etaloniranja na svim rastojanjima u okviru $\pm 1,2\%$ od srednje vrednosti, osim za izvor 2, gde su odstupanja veća od 4%. S obzirom na to da svi izvori koriste isti kolimator i nosače, kao i da je geometrija kolimatora i sobe identična, ne postoji fizički razlog za veće odstupanje vrednosti kod izvora 2, odnosno u tom slučaju je uzrok odstupanja nesavršenost referentnog merila i loša statistika.

Tabela 1. Rezultati etaloniranja scintilacionog detektora

r (cm)	Referentna komora	K_a ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	N_k (Gy/Sv)	$U(k=2)$
119,5	PTW 32002	21,76	0,821	1,6%
150,0	PTW 32002	13,96	0,831	1,4%
200,0	PTW 32002	7,824	0,829	1,5%
200,0	PTW 32003	7,782	0,825	1,1%
300,0	PTW 32003	3,481	0,832	1,4%
400,0	PTW 32003	1,973	0,845	1,6%
500,0	PTW 32003	1,251	0,848	1,6%
524,5	PTW 32003	1,142	0,844	2,3%

Tabela 2. Rezultati etaloniranja polja izvora 2

r (cm)	K_a (nGy/h)	Dr^2 (Gycm ² /h)
119,5	1,370	0,01956
150,0	0,865	0,01946
200,0	0,487	0,01948
300,0	0,210	0,01890
400,0	0,114	0,01817
500,0	0,071	0,01764
524,5	0,066	0,01815



Slika 1. Normirani rezultati etaloniranja izvora broj 2 do 8.

- Prema svemu navedenom, rezultat etaloniranja polja broj 2 je 0,01950 Gycm²/h.

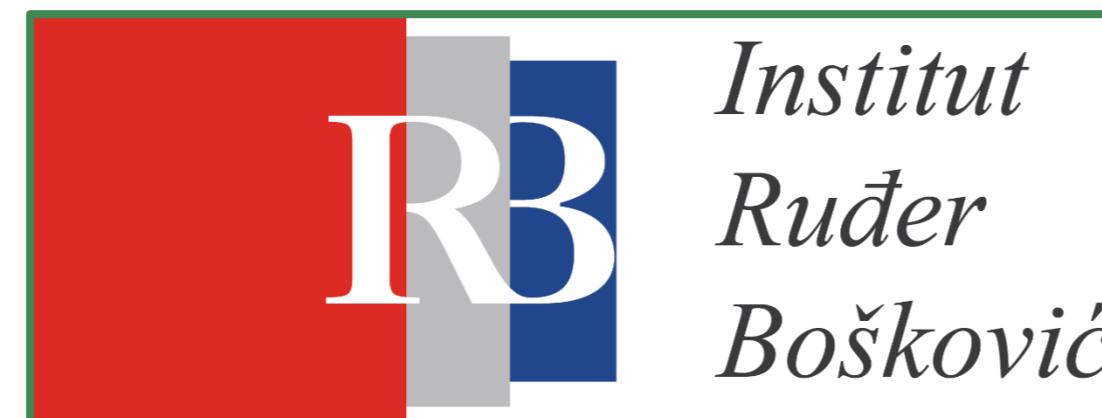
Zaključak

Etoloniranje polja zračenja i etaloniranje dozimetara u zaštiti od zračenja u uslovima vrlo niskih jačina doza nisu pokriveni relevantnim standardima. Takođe nije moguće koristiti ionizacione komore kao referentna merila. Međutim, scintilacioni detektori visokog kvaliteta mogu biti korišćeni za etaloniranje polja. Sledivost se obezbeđuje tako što se scintilacioni detektor etalonira u polju izvora veće aktivnosti, a zatim se detektor koristi za etaloniranje polja niže aktivnosti. Ova procedura uzrokuje veću mernu nesigurnost, a kako se vrednosti jačine doza približavaju vrednostima fona, merna nesigurnost postaje sve veća, dok na kraju ne postane prevelika za praktičnu primenu. Međutim, istraživanja sa izvorima većih aktivnosti pokazuju da se etaloniranje izvora na malim rastojanjima, gde je veća jačina doze, može veoma pouzdano iskoristiti i na većim rastojanjima, pod uslovom da je geometrija kalibracione sobe dobro poznata.

Evaluation of Diagnostic Radiology Detector Performance in Reference Mammography Radiation Fields

Nikola Kržanović¹
Andrea Kojić^{1,2}
Luka Bakrač³
Miloš Živanović¹

¹ Vinca Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade
² Faculty of Physics, University of Belgrade
³ Ruder Bošković Institute (RBI)



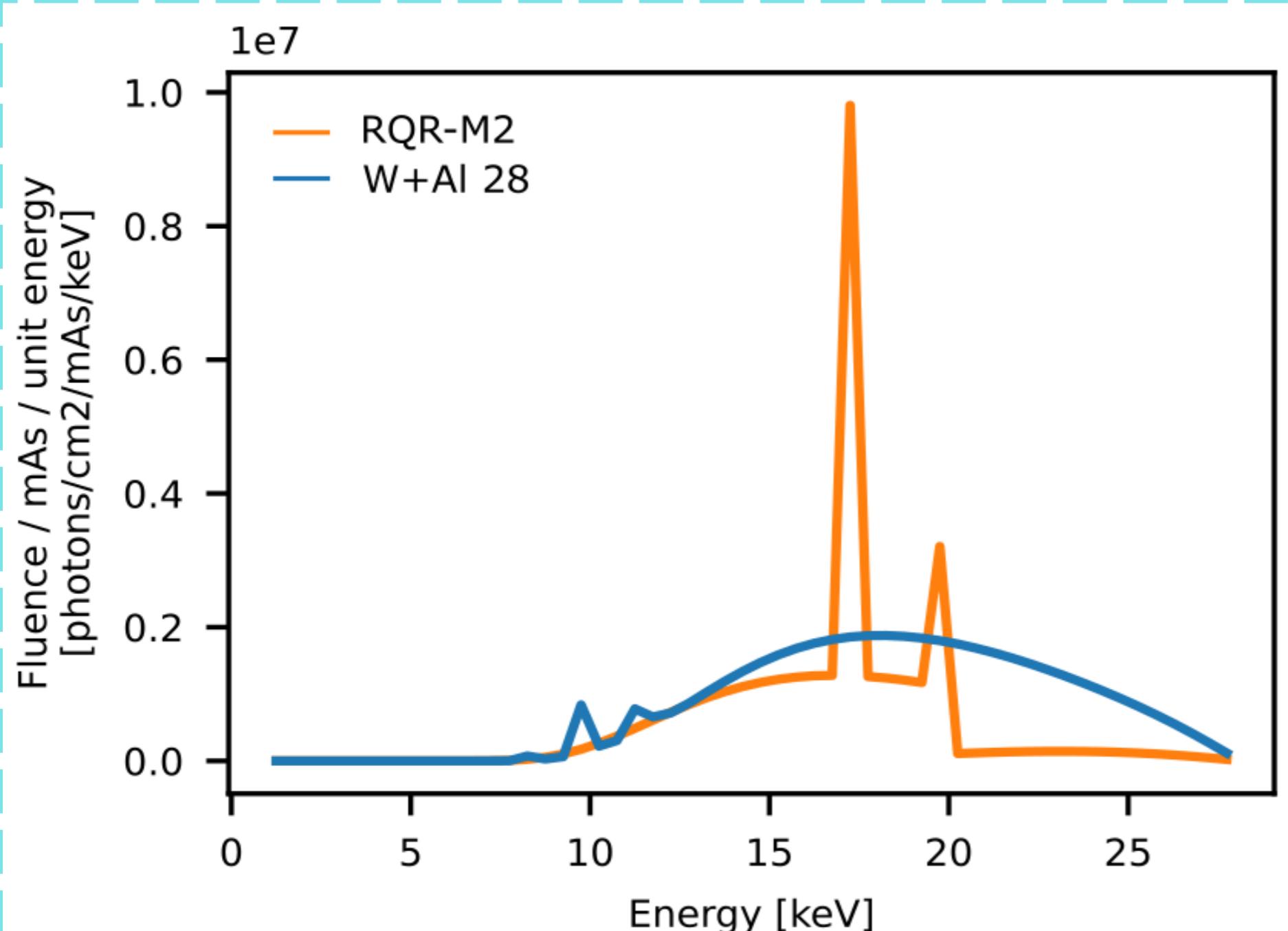
Acknowledgement

This work was funded by The Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia under contract 451-03-47/2023-01/ 200017, International Atomic Energy Agency (IAEA) under the research contract No: 24688, which is part of the IAEA Coordinated Research Project E24024, entitled ‘Evaluation of the Dosimetry Needs and Practices for the Update of the Code of Practice for Dosimetry in Diagnostic Radiology (TRS-457)’, and the project (22NRM01 TraMeXi) which has received funding from the European Partnership on Metrology, co-financed from the European Union’s Horizon Europe Research and Innovation Programme and by the Participating States.



Introduction

- IEC 61764 defines limits of variation for diagnostic radiology dosimeters in medical imaging procedures.
- IEC 61267 defines the properties of reference radiation fields in diagnostic radiology.



Mammography Radiation qualities

- Radiation fields with known and well-defined photon energy distribution (energy spectra) are termed as radiation qualities.
- Radiation qualities in mammography are defined for a narrow X-ray tube voltage range from 25 kV up to 35 kV.
- The IEC defined radiation qualities are termed as RQR-M and represent the molybdenum (Mo) anode target material and Mo filtration.
- Non-standard radiation quality series was developed with W/Al setup which utilizes additional filtration of 0.5 mm Al

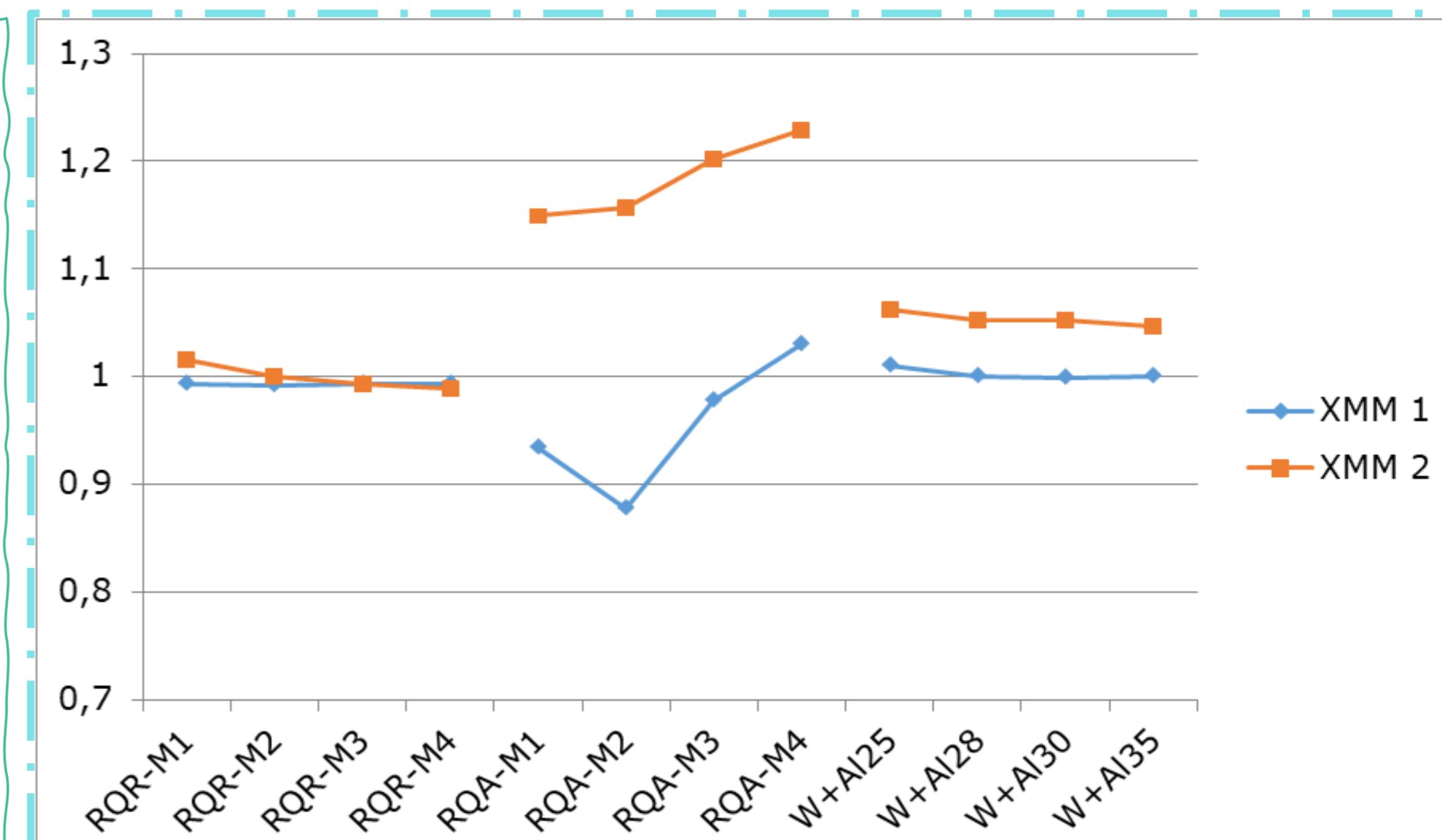


Diagnostic Radiology Dosimeters

- Diagnostic dosimeters can have significant energy dependence, and because of this it is important to test them in a range of radiation qualities in which they will be used.
- X-ray multimeters (XMMs) can measure dose, dose rate and X-ray tube voltage non-invasively, as well to estimate total-filtration of the radiation beam (TF), irradiation time, current time product, as well as 1st half-value layer (HVL).
- XMMs usually utilize different filters for energy compensation of the detectors and for establishing correction factors which are applied to the measured value based on the chosen software setting.

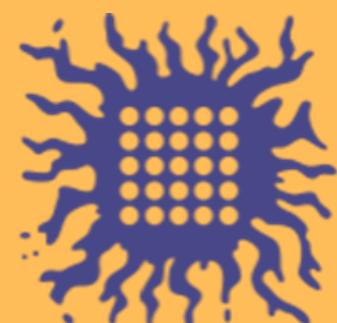
Conclusion

- Performance of the diagnostic radiology detectors can differ for the same X-ray tube voltage due to differences in the X-ray beam spectra and HVL.
- The responses of examined XMMs are stable for the reference RQR-M radiation quality series where the deviations are within $\pm 5\%$ from the reference value.
- In the case of RQA-M series one of the XMMs has displayed an under response with the maximum deviation greater than 10 % (for the 28 kV radiation field), while the other XMM has exhibited a great overresponse of 20 % at the 35 kV radiation field.



THE INFLUENCE OF COMPRESSION PADDLE POSITIONING ON HVL MEASUREMENTS IN MAMMOGRAPHY

A. Kojić, N. Kržanović, I. Komatina, M. Živanović, P. Božović, J. Stanković Petrović,
J. Vlahović



Vinca Institute of Nuclear Sciences
National Institute of the Republic of Serbia
University of Belgrade

INTRODUCTION

Protocols for QC testing in mammography define the reference value for one of the most important parameters in mammography - the mean glandular dose (MGD). MGD is derived from air kerma measurements and the half-value layer (HVL). The compression paddle is commonly used in clinical measurements as it is a part of the mammography unit and it is always present in mammographic examinations. Guidelines for QC testing in mammography propose measuring the HVL by placing added filtration on compression paddle while multimeter is positioned on the mammography unit's detector. The presence of the compression paddle can influence the measured values of HVL leading to the contribution to the MGD.

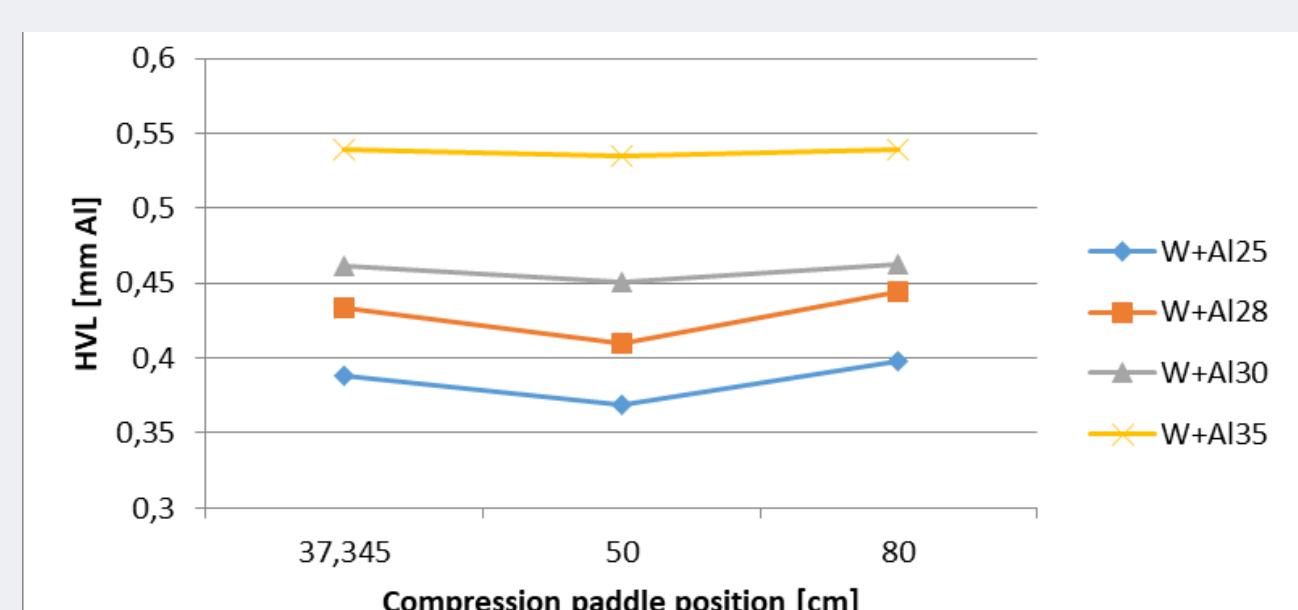
LABORATORY MEASUREMENTS

The influence of compression paddle positioning on HVL measurements was studied under laboratory conditions. Measurements were carried out at Vinca SSDL, using the parallel plate ionization chamber (Exradin A650) positioned at 1 m distance from the X-ray generator with W anode and 0.5 mm Al additional filtration. Aluminium attenuators were placed on a 3 mm thick PMMA plate, facing the source. Position of the plate was at the distance of 37,345 cm, 50 cm and 80 cm from the source. HVL is determined for four W+AL mammography reference radiation qualities at 25 kV (W+Al25), 28 kV (W+Al28), 30 kV (W+Al30) and 35 kV (W+AL35).



RESULTS

HVL has the lowest value when the plate and the attenuators are placed equidistantly from the source and the detector, at 50 cm for all radiation qualities. When PMMA plate is at 80 cm distance from the source, a slightly larger HVL value is observed in comparison to the values when the plate is at 37,345 cm and 50 cm for all radiation qualities. This indicates that when the plate is far from the source and closer to the detector additional scattering is present.



HVL values when the PMMA plate is present in the beam (at 37.345 cm, 50cm and 80 cm) compared to the values without the presence of the plate (attenuation filters positioned at 50 cm) show discrepancies ranging from 11% (at 25 kV and 28 kV and PMMA plate at 50 cm) up to 18% (at 35 kV and plate positioned at 80 cm).

	W+Al25	W+Al28	W+Al30	W+Al35
37,345 cm	16%	15%	14%	15%
50 cm	11%	11%	12%	15%
80 cm	18%	17%	15%	15%

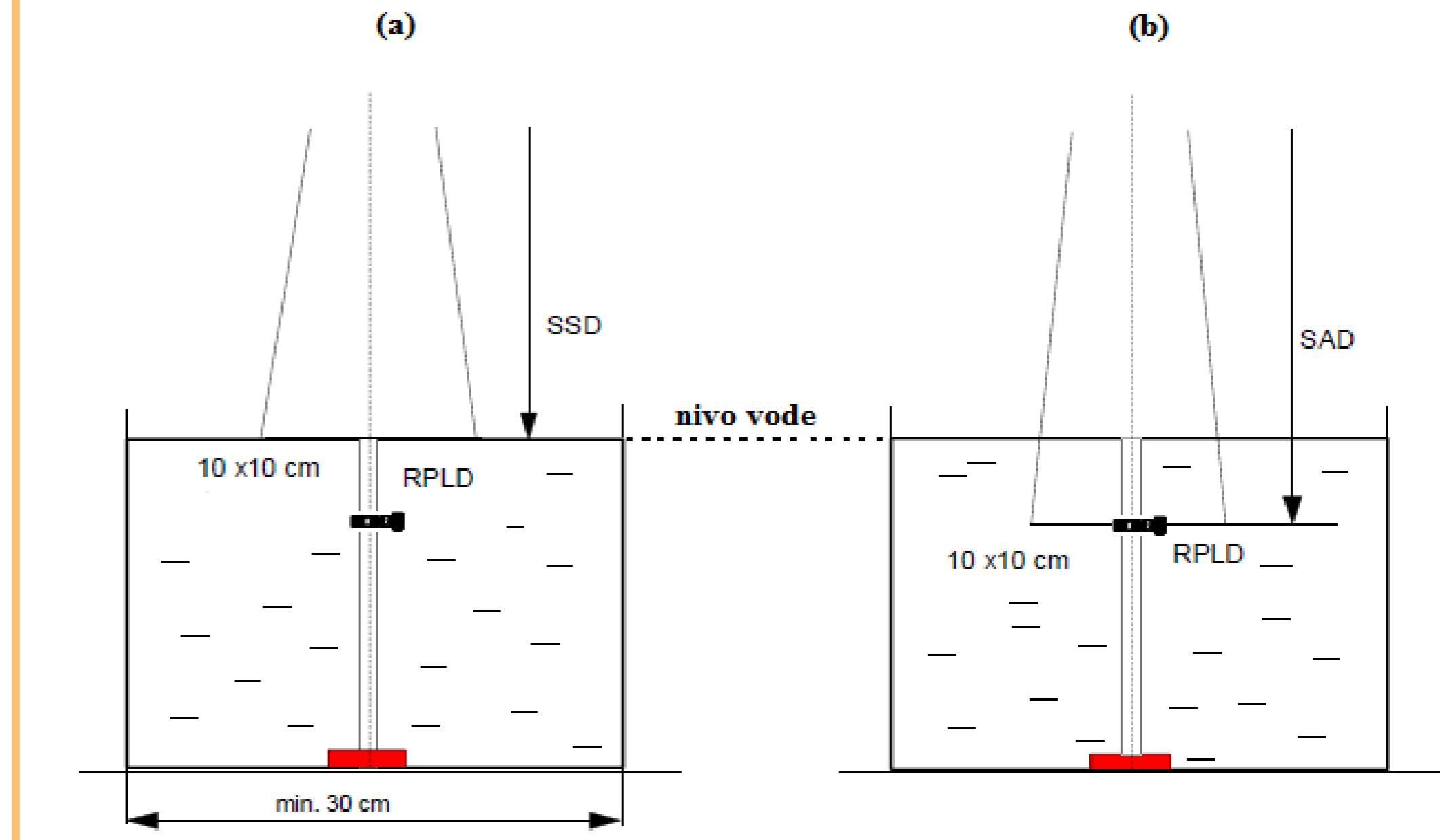
Provera radioterapijskih ustanova Srbije od 2019. do 2022. godine poštanskom dozimetrijom u veličini apsorbovana doza u vodi

Nikola Kržanović¹
Miloš Živanović¹
Miloš Đaletić¹
Ivana Komatina^{1,2}
Andrea Kojić^{1,3}
Srboljub Stanković¹

¹ Vinca Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade

² Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade

³ Faculty of Physics, University of Belgrade



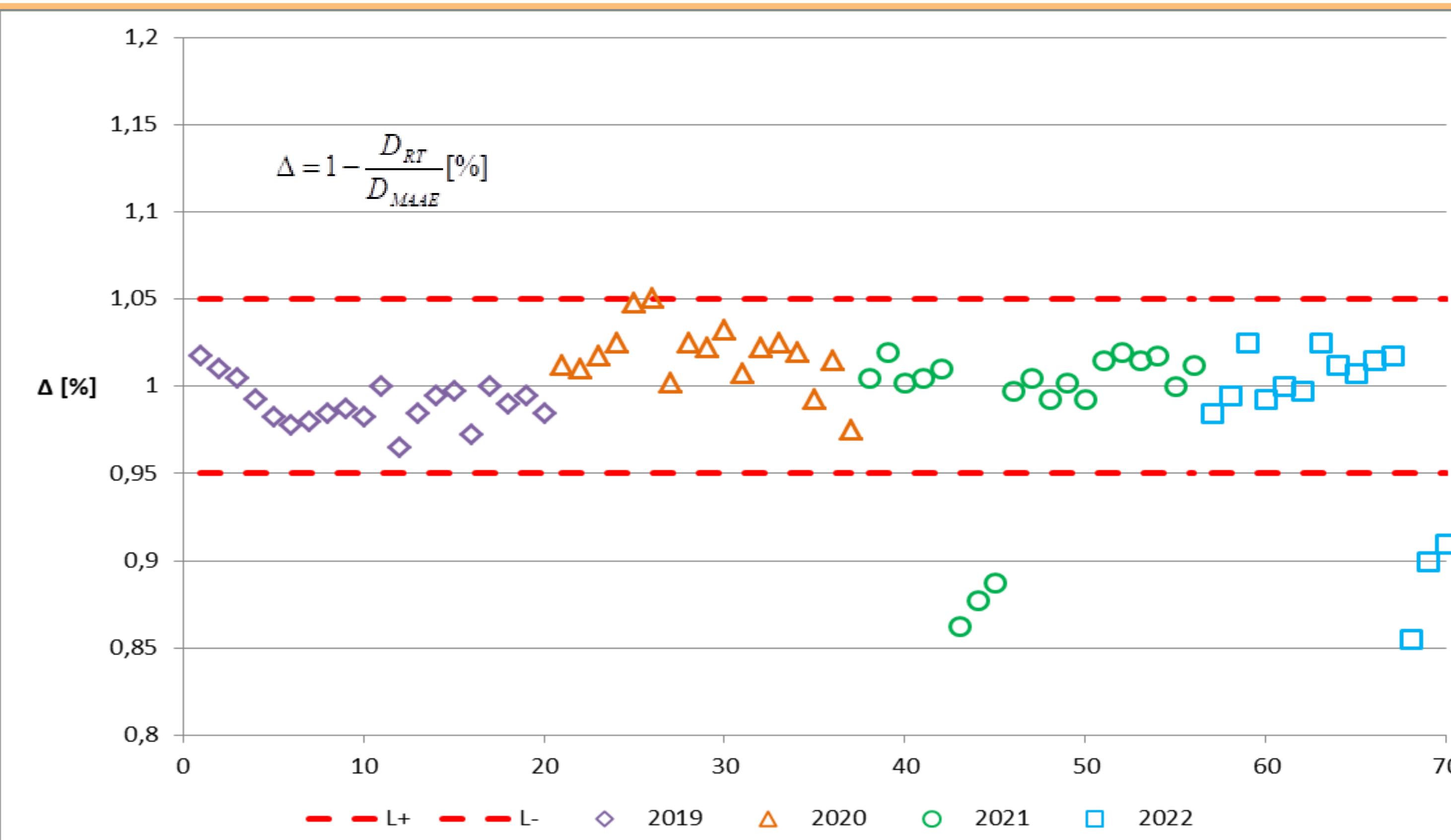
Poštanska dozimetrija

- MAAE sprovodi program provere doza od 1969. god. poštanskom dozimetrijom.
- Do 1991. godine korišćen isključivo Co-60.
- TLD i RPLD korišćeni za dozu u vodi za radioterapijske centre i SSDL
- TLD i OSLD korišćeni za kermu u vazduhu za SSDL – zaštita od zračenja
- Učešće u programu periodično na 2 godine, dobrovoljno.
- Pasivni dozimetri se poštom šalju ka radioterapijskom centru ili SSDL-u koji je odgovoran za dalju distribuciju dozimetara i njihovo prikljupljanje nakon izvršenog ozračivanja i konačne isporuke natrag u Laboratoriju MAAE.
- U svrhu kontrole kvaliteta su ranije korišćeni isključivo termoluminiscentni pasivni dozimetri (TLD) koji su u periodu od 2017. do 2019. godine zamenjeni radiofotoluminiscentnim dozimetrima (RPLD).

Metoda provere

- RPLD se postavljaju na dubinu od 10 cm unutar vodenog fantoma, pri čemu je rastojanje između izvora zračenja i površine vode (SSD) ili izvora zračenja i centralne ose detektora zračenja (SAD).
- Veličina polja na definisanom rastojanju je $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- Vrednost apsorbovane doze na koju se pasivni dozimetri ozračuju iznosi 2 Gy.
- Kontrolna grupa dozimetara se ozračuje u referentnom polju zračenja Co-60 u dozimetrijskoj laboratoriji MAAE.
- Za megavoltažne snopove x-zračenja primenjuju se korekcioni faktori na kvalitet zračenja.
- Ukoliko je $\Delta < \pm 5\%$ smatra se da je radioterapijski zadovoljio kriterijum provere, te je uspešno učestvovao u kontroli kvaliteta poštanskom dozimetrijom.
- Redosled evaluiranih snopova zračenja je slučajan radi očuvanja anonimnosti rezultata eksterne provere.

Radioterapijski centar	Generator visokoenergetskog snopa zračenja	Snop zračenja akceleratora	Godina učešća
Klinički centar Srbije	Varian Edge	6 MV 6 MV FFF 10 MV FFF	2019, 2021
Institut za onkologiju i radiologiju Srbije	Varian True Beam	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2020
	Varian Clinac iX	6 MV 15 MV	2021
	Varian Halcyon	6 MV FFF	2022
Institut za Onkologiju Vojvodine	Elekta Versa HD	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2021
	Varian True Beam	6 MV SRT 6 MV FFF SRT 10 MV SRT 15 MV	2020, 2022
	Varian Vital Beam	6 MV SRT 10 MV SRT	2020, 2022
Institut za plućne bolesti Vojvodine	Varian Clinac 600	6 MV	2021
	Elekta Versa HD	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2021
Klinički centar Kragujevac	Elekta Synergy Platform	6 MV	2019, 2020, 2022
	Varian Clinac iX	6 MV 15 MV	2019, 2021
	Elekta Synergy	6 MV 10 MV	2019, 2020, 2021, 2022
Klinički centar Niš	Varian Clinac iX	6 MV 16 MV	2019, 2021
	Elekta Synergy Platform	6 MV 10 MV	2020, 2022
Zdravstveni centar Kladovo	Varian Clinac	6 MV	2021
	Varian Clinac iX	6 MV 16 MV	2019, 2021
	Varian Clinac 600C	6 MV	2020
Vojnomedicinska akademija	Elekta Synergy Platform	4 MV 10 MV 18 MV	2020, 2022



PROMENE GENETIČKOG MATERIJALA U LIMFOCITIMA PERIFERNE KRVI IZLOŽENIH U VANREDNOM DOGAĐAJU NA GRANIČNOM PRELAZU BEZDAN



Jelena PAJIĆ, Sladana VUKOVIĆ, Milenko ĐUKIĆ, Jovica STEPOVIĆ, Boban RAKIĆ

Institut za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“, Beograd, jelena.pajic@institutkarajovic.rs

Sadržaj

Nakon vanrednog događaja na graničnom prelazu Bezdan, pregledanim radnicima carine i policije (N=12) uzorkovana je krv za citogenetičke analize. Rezultati su statistički obrađeni programom SPSS ver. 26.

Kod eksponovanih radnika nisu detektovane nestabilne hromozomske aberacije. Dobijeni rezultati analize mikronukleus testa kod 92% ispitanika nalaze se u referentnom opsegu za opštu populaciju Srbije (u intervalu od 3-13 mikronukleusa na 1000 binuklearnih limfocita). Kod jednog radnika broj mikronukleusa je povišen (24 mikronukleusa na 1000 binuklearnih limfocita), ali još uvek u granicama za profesionalno izložena lica, što se objašnjava obavljenim radiodijagnostičkim medicinskim izlaganjem u prethodnom šestomesečnom periodu.

Dobijeni rezultati u skladu su sa do sada zabeleženim slučajevima akcidentalnog izlaganja opšte populacije u sličnim događajima na svetskom nivou, prema podacima UNSCEAR iz 2008. godine.

Uvod

- Jonizujuća zračenja su potentni klastogeni genotoksični agensi, sposobni da indukuju širok spektar oštećenja molekula DNK.
- Nestabilne hromozomske aberacije (dicentrični hromozom, ring hromozom, praćeni acentričnim fragmentima) i mikronukleusi su pokazatelji skorašnjeg ozračivanja i kao takvi koriste se u biodozimetrijskoj proceni apsorbovane doze prilikom akutne ekspozicije.
- Zbog toga analiza genetičkog materijala u vanrednim pregledima ima značajnu ulogu u proceni individualnog odgovora na akcidentalna izlaganja jonizujućim zračenjima [1-4].

Cilj rada

Cilj rada je analiza genetičkog materijala (nestabilnih hromozomskih aberacija i mikronukleusa) radnika na carinskem prelazu koji su tokom rutinske kontrole detektovali povećanu radioaktivnost od neovlašćeno transportovanog radioaktivnog gromobrana, a nakon obavljenih vanrednih pregleda.

Materijal i metode

Za studiju preseka analizirani su uzorci periferne krvi zaposlenih koji su obavili vanredni pregled u Institutu za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“ marta 2023. Testirano je 12 radnika metodama analize nestabilnih strukturalnih hromozomskih aberacija i mikronukleus testom, prema standardnom protokolu [5]. Statistička analiza je sprovedena korišćenjem metoda deskriptivne statistike.

Rezultati i diskusija

Tabela 1: Osnovne karakteristike ispitanika

	N	Minimum	Maximum	Prosečna vrednost
Godine života	12	30	62	46,9
Ukupni radni staž (godine)	12	6	38	24,1
Radni staž na radnom mestu (godine)	12	6	35	21,5

- Kod eksponovanih radnika nisu detektovane nestabilne hromozomske aberacije.
- Prosečan broj mikronukleusa iznosio je 8,6 (u intervalu 3-24).
- Dobijeni rezultati analize mikronukleus testa kod 92% ispitanika nalaze se u referentnom opsegu za opštu populaciju Srbije (u intervalu od 3-13 mikronukleusa na 1000 binuklearnih limfocita).
- Kod jednog radnika broj mikronukleusa je bio van referentnog opsega za opštu populaciju (24 mikronukleusa na 1000 binuklearnih limfocita), a u granicama referentnih za profesionalno izložena lica
- To se objašnjava obavljenim radiodijagnostičkim medicinskim izlaganjem u prethodnom šestomesečnom periodu.

Distribucija ispitanika u odnosu na pol

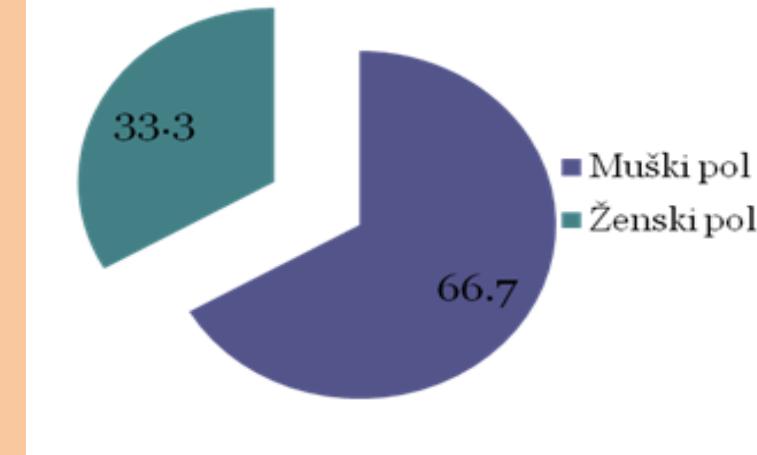


Tabela 2: Vrednosti mikronukleus testa

	N	Minimum	Maximum	Prosečna vrednost	SD
Broj mikronukleusa na analiziranih binuklearnih limfocita	12	3	24	8,6	5,6

Tabela 3: Distribucija ispitanika u odnosu na referentne vrednosti Laboratorije za opštu populaciju Srbije

Vrednosti mikronukleusa po grupama	N	%
0-15	11	91,6
>15	1	8,4

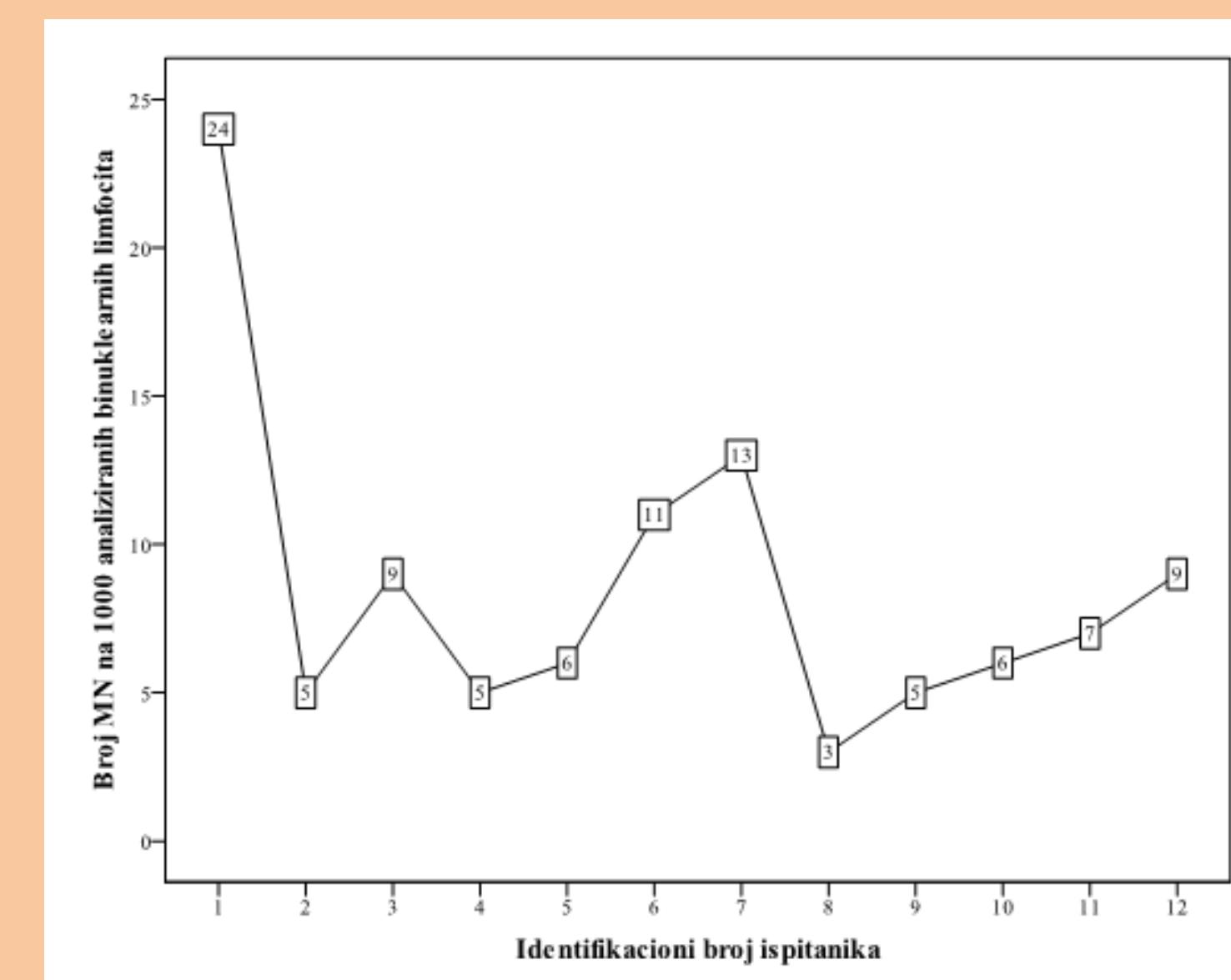
Zaključak

Citogenetičkim analiziranjem uzoraka periferne krvi nisu uočeni poremećaji genetičkog materijala kod ispitanika ove studije.

Biodozimetrija, kao metod procene apsorbovane doze zračenja, posebno je značajna jer, za razliku od fizičke dozimetrije, u obzir uzima i interindividualnu varijabilnost u odgovoru na zračenje.

Literatura

- [1] EJ, Giaccia AJ. Radiobiology for the Radiologist. Lippincott Williams and Wilkins. New York, 2012.
- [2] BEIR VII. Report of the Advisory Committee on the Biological Effects of Ionising Radiations. National Academy of Sciences, National Research Council, Washington DC, USA, 2006.
- [3] Joksić G. Citogenetika. U: Vidaković A, ur. Medicina rada II. Beograd: Udruženje za medicinu rada Jugoslavije, 1997: 563-575.
- [4] United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. Sources And Effects Of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report, United Nations, New York, 2010.
- [5] International Atomic Energy Agency. Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies. Vienna: IAEA 2011.
- [6] Boban Rakić. Učestalost mikronukleusa u limfocitima periferne krvi opšte i populacije profesionalno izložene jonizujućim zračenjima na teritoriji Srbije. [Specijalistički rad]. Beograd: Univerzitet u Beogradu, 2013.
- [7] Pajić J, Rakić B, Jovićić D. Učestalost mikronukleusa u limfocitima periferne krvi opšte populacije na teritoriji Srbije: rezultati citogenetičke biomonitoring studije. Simpozijum Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Zbornik, Vršac 2015: 369-376.



Grafik: Vrednost mikronukleusa kod ispitanika



XXXII Simpozijum DZZSCG
Budva, 04-06.10.2023.

Biološki efekti jonizujućih zračenja



Analiza zdravstvenog stanja radnika na carinskom prelazu akcidentalno izloženih radioaktivnom zračenju



S.Vuković, M. Đukić, J. Stepović, J. Pajić, B. Rakić
Institut za medicinu rada Srbije "Dr Dragomir Karajović"

UVOD

- Terminom "Orphan radioactive source" označavaju se radioaktivni izvori koji su: napušteni, izgubljeni, ukradeni ili uklonjeni van regulatorne kontrole.
- Tačan broj ovih izvora jonizujućih zračenja u svetu nije poznat, ali procenjuje se u hiljadama (UNSCAER 2008 Report)
- Od 1984. godine zakonom je zabranjena ugradnja radioaktivnih gromobrana.
- Od 1996. godine gromobrani se aktivno uklanjaju ali ih na teritoriji Srbije ima još nekoliko stotina.

Na carinskom prelazu Bezdan 05. marta 2023. god tokom rutinske carinske kontrole, detektovana je povišena radioaktivnost u putničkom automobilu usled nepropisnog transportovanja radioaktivnog gromobrana.

Dodatnim merenjima ustanovljeno je da, nakon uklanjanja radioaktivnog izvora, ne postoji kontaminacija vozila i okoline. Gromobran je u sebi sadržavao Europijum-152.

CILJ RADA

Analiza zdravstvenog stanja i poremećaja zdravlja uočenih na vanrednom pregledu radnika, nastalih usled akcidentalnog izlaganja radioaktivnom zračenju na carinskom prelazu.

MATERIJAL I METODE

Za studiju preseka analizirani su rezultati dobijeni iz zdravstvenog kartona zaposlenih koji su obavili vanredni pregled u periodu od 07. do 14. marta 2023. god u IMRS.

Pregledano je ukupno 12 radnika (8 carinskih i 4 policijskih) u skladu sa elementima pregleda koji su definisani Pravilnicima

Za analizu su korištene metode deskriptivne statistike

REZULTATI I DISKUSIJA

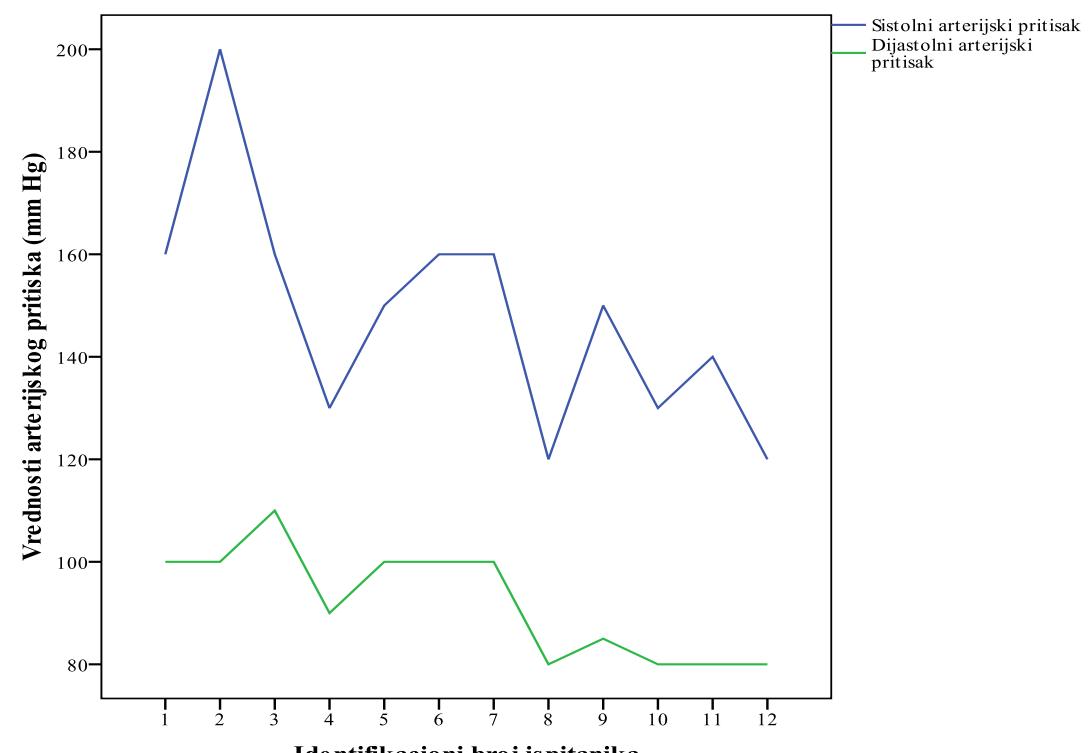
Tabela 1: Osnovne karakteristike ispitanika

Parametar	N	Min	Max	Prosečna vrednost	SD
Godine života	12	30	62	46,9	9,1
Godine radnog staža	12	6	35	21,5	2,3

REZULTATI I DISKUSIJA-nastavak

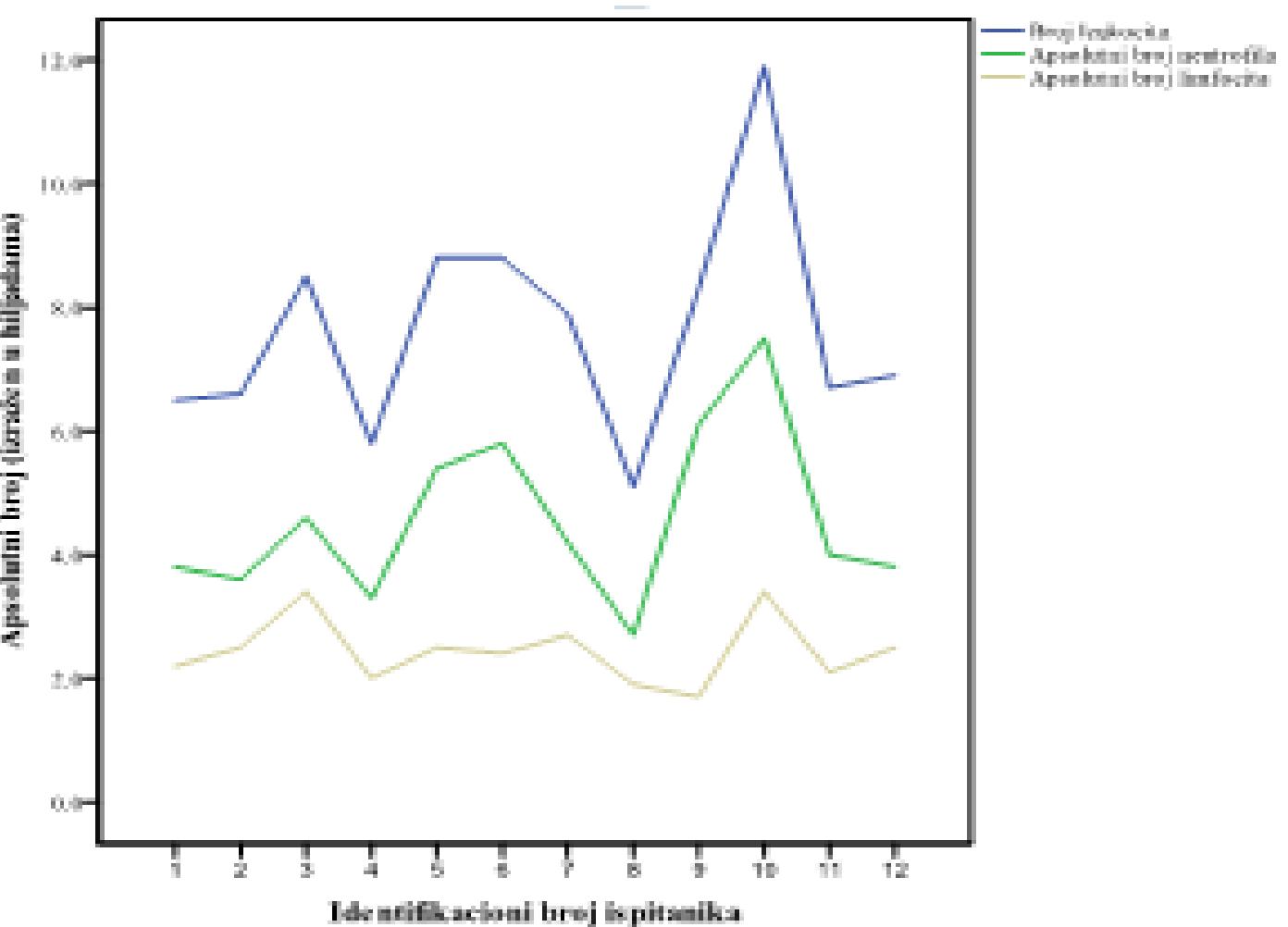
Tabela 2: Subjektivne tegobe ispitanika

Subjektivne tegobe	Na dan incidenta N (%)	Dva dana od incidenta N (%)
Bez tegoba	4 (33,3)	8 (66,6)
Glavobolja	5 (41,7)	2 (16,7)
Napetost i neroza	1 (8,3)	2 (16,7)
Dijareja i bolovi	2 (16,7)	/



Prosečna vrednost sistolnog arterijskog pritiska iznosila je 148 mm Hg (u intervalu 120-200 mm Hg), a dijastolnog 92 mm Hg (u intervalu 80-110 mm Hg)

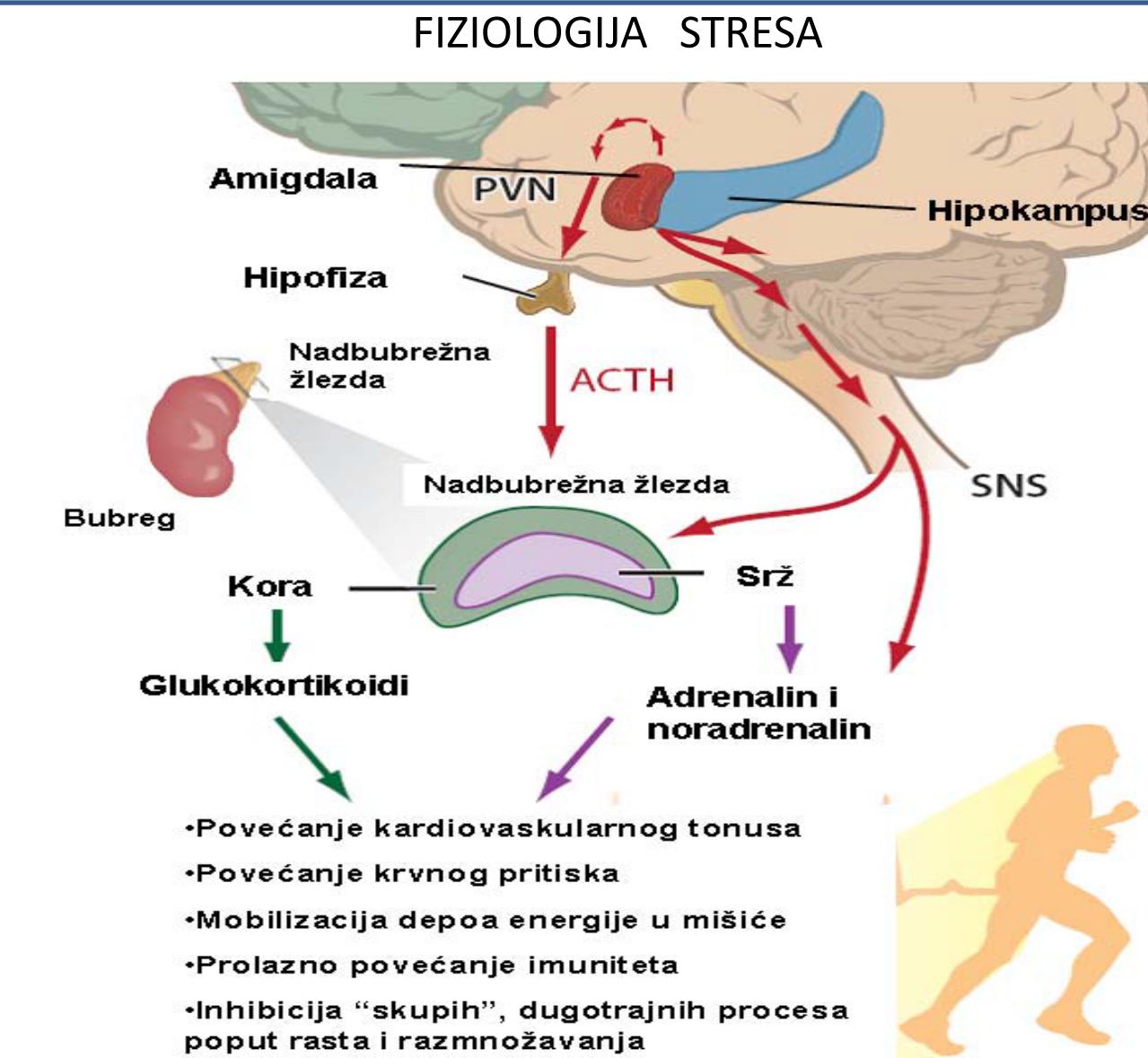
Na grafikonu 1 prikazana je distribucija vrednosti sistolnog i dijastolnog arterijskog pritiska



Na grafikonu 2 prikazane su absolutne vrednosti elemenata bele krvne loze kod 12 ispitanika

Kod tri ispitanika registrovane su vrednosti glikemije više od 6,1 mmol/l

Prosečne vrednosti glikemije iznosile su 5,9 mmol/l (u intervalu 4,9-8,4 mmol/l)



Svi naši ispitanici obavili su pregled kod psihologa i psihijatra

Registrovan stepen zabrinutosti za zdravlje bio je proporcionalan objektivnim okolnostima

ZAKLJUČAK

Neposredno nakon incidenta nisu uočena oštećenja radiosenzitivnih tkiva i organa. Zabeleženi su napetost, neroza, glavobolja, skok glikemije i arterijskog pritiska u sklopu akutne reakcije na stres. Zabrinutost za sopstveno zdravlje bila je proporcionalna objektivnim okolnostima kod svih ispitanika. Navedeni poremećaji zdravstvenog stanja nisu narušili njihovu radnu sposobnost.

Reference

- [1] United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. Sources And Effects Of Ionizing Radiation. UNSCAER 2008 Report, United Nations, New York, 2010. Vol. I
- [2] United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. Sources And Effects Of Ionizing Radiation. UNSCAER 2008 Report, United Nations, New York, 2010. Vol. II
- [3] Eugenio GIL. Orphan Sources. Extending Radiological Protection outside the Regulatory Framework. Second European IRPA Congress on Radiation Protection Paris, May 15 -19, 2006.
- [4] Preuzeto sa <https://www.srbatom.gov.rs/srbatom/saopstenje-za-javnost/>
- [5] Pravilnik o prethodnim i periodičnim lekarskim pregledima zaposlenih na radnim mestima sa povećanim rizikom, Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije br. 53, 2017.
- [6] Pravilnik o uslovima za dobijanje licence za obavljanje radijacione delatnosti Sl. Gl. RS (61/2011-67, 101/2016-107, 44/2018-27 (dr zakon), 50/2018-123, 30/2022-64 (dr. pravilnik))
- [7] Peruničić B. Fiziologija stresa. U: Vidaković A, ur. Medicina rada I. Beograd: Udrženje za medicinu rada Jugoslavije, 1996: 47-51.
- [8] Čabarkapa M. Psihološki aspekti stresa. U: Vidaković A, ur. Medicina rada I. Beograd: Udrženje za medicinu rada Jugoslavije, 1996: 38-47.

BEZBEDNO UPRAVLJANJE ZATVORENIM IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA: MOGUĆI PRISTUPI, RUKOVANJE, KONDICIONIRANJE I SKLADIŠTENJE

Mihajlo Jović, Nenad Šipka i Ivana Smičiklas

Institut za nuklearne nauke „Vinča“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu,
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd

SAŽETAK

Zbog široke primene u industriji, medicini, poljoprivredi i različitim oblastima istraživanja, broj zatvorenih izvora ionizujućeg zračenja (SRS) u svetu je u konstantnom porastu. Kod izvora ovog tipa radioaktivni materijal je hermetički zatvoren/zapečaćen u odgovarajuća kućišta/kapsule, kako bi se sprečio kontakt sa okolinom pri normalnim uslovima primene. U slučajevima kada se korišćenje zatvorenih izvora zamenjuje drugom tehnikom, izvor postane nedovoljne aktivnosti ili oštećen, deklariše se kao isluženi izvor ionizujućeg zračenja koji i dalje može biti visoko radioaktiv i potencijalno opasan po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Širom sveta zabeležen je veliki broj akcidenata, pa adekvatno upravljanje predstavlja prioritet sa ciljem sprečavanja nezgoda ovog tipa. Isluženi izvor nije nužno i radioaktivni otpad, pa se pre deklarisanja kao takvog razmatraju i druge opcije.

CILJ OVOG RADA JE DA PREDOČI MOGUĆE PRISTUPE I PRUŽI UVID U NEOPHODNE KORAKE U BEZBEDNOM UPRAVLJANJU SRS

KARAKTERISTIKE, KATEGORIZACIJA/KLASIFIKACIJA I PRIMENA SRS

Za izradu detaljnog plana upravljanja SRS, neophodne su informacije o parametrima i karakteristikama samog izvora kao što su: fizicki oblik, radiofizičke karakteristike, hemijske karakteristike, struktura i dizajn, fizičko stanje, karakteristike koje se odnose na određeni način primene izvora. SRS se koriste u različite svrhe i namene, sadrže širok spektar radionuklida i količine radioaktivnog materijala, pa se njihova kategorizacija zasniva na karakteristikama zračenja i opasnosti koju radioaktivni izvor predstavlja za ljude i životnu sredinu. Tri glavna međunarodna sistema kategorizacije su razvijena za informisanje o strategijama upravljanja isluženim radioaktivnim izvorima, a sistemi su razvijeni za različite svrhe donošenja odluka: 1) IAEA kategorizacija na kategorije 1, 2, 3, 4 i 5; 2) IAEA bezbednosna kategorizacija bazirana na ciljevima koje svaki bezbednosni nivo treba da obezbedi (A, B i C); i 3) ISO klasifikacija izvora zasnovana na performansama ispitivanja. SRS su našli veliku primenu i intezivno se koriste širom sveta u industriji, medicini, poljoprivredi, različitim oblastima istraživanja i obrazovanja, kao i u vojnim i obrambenim aplikacijama. Aktivnosti izvora kreću se od nekoliko kilobekerela (kBq), obično u proizvodima široke potrošnje i smatraju se relativno bezopasnim, pa sve do petabekerela (PBq) koji se koriste u objektima namenjenim za ozračivanje, sterilizaciju i radioterapiju, a koji mogu imati smrtonosno dejstvo čak i tokom kratkotrajnog izlaganja.

Tabela 1: Tipične oblasti primene SRS

PRIMENA	RADIONUKID	PERIOD POLURASPADA
Industrija		
Merači debeline	^{65}Kr ; ^{90}Sr	10,8a; 28,1a
Merači nivoa	^{137}Cs ; ^{60}Co	30,2a; 5,3a
Merači gustine	^{137}Cs ; ^{241}Am	30,2a; 432,2a
Merači vlage	^{241}Am ; ^{60}Be	432,2a
Sterilizacija	^{60}Co ; ^{137}Cs	5,3a; 30,2a
Ispitivanje bušutina	^{241}Am ; ^{137}Cs	432,2a; 30,2a
Industrijska radiografija	^{60}Co ; ^{192}Ir	5,3a; 73,8d
Uklanjanje statickog nadelektrisanja	^{210}Po ; ^{226}Ra ; ^{241}Am	138,4d; 1600a; 432,2a
Medicina		
Klinička teheradioterapija	^{60}Co	5,3a
Denzitometrija kostiju	^{241}Am ; ^{125}I	432,2a; 59,4 d
Brateriterapija	^{137}Cs ; ^{132}I ; ^{226}Ra ; ^{60}Co	30,2a; 75,8d; 1600a; 5,3a
Istraživanja		
Uklanjanje statickog nadelektrisanja	^{210}Po ; ^{226}Ra	138,4d; 1600a
Ozračenje	^{60}Co	5,3a
Kalibracioni izvori	veliki broj radionuklida	



Slika 1: Četiri tipa gromobrana sa radioaktivnim izvorom



Slika 2: Primeri uređaja sa SRS i specifičnost uslova njihovim rukovanjem

RUKOVANJE, KONDICIONIRANJE I SKLADIŠTENJE

Rukovanje radioaktivnim izvorom se može definisati kao svaka fizička manipulacija izvorom: premeštanje, transfer, uklanjanje iz ili stavljanje u kontejner, rastavljanje dela opreme koji sadrži izvor, uklanjanje izvora iz opreme, merenje, inspekcija ili testiranje. Prilikom planiranja i izvođenja radova koji uključuju rukovanje radioaktivnim izvorima, mora se uzeti u obzir velika mogućnost gubitka kontrole usled potencijalne kontaminacije i potencijalno visoke izloženosti radnika tokom rukovanja radioaktivnim izvorima. Sve aktivnosti koje uključuju rukovanje SRS obavljaju se sa velikom pažnjom na osnovu prethodno pripremljenog detaljnog plana i analize rizika uz poštovanje svih sigurnosnih i bezbednosnih procedura i pravila.

Kondicioniranje je postupak koji ima za cilj da se radioaktivni materijal prevede u ambalažu/paket prihvatljiv za rukovanje, transport, skladištenje i/ili odlaganje, a sve u skladu sa propisima o transportu, zahtevima za skladištenje i/ili kriterijumima za prijem radioaktivnog otpada na odlaganje. Rizik pri kondicioniranju predstavlja činjenica da je aktivnost radionuklida skoncentrisana u relativno maloj zapremini. Proizvedena ambalaža/pakovanje mora biti potpuno okarakterisana, a mora se uzeti u obzir i mogućnost ponovnog izvlačenja izvora iz ambalaže.

Skladištenje - SRS se u zaštitnom kontejneru mogu privremeno čuvati u skladištu za privremeno čuvanje. U ovim objektima isluženi izvori se čuvaju sa namerom ponovnog iznošenja nakon urađenog servisa uređaja, radi obrade, prerađe ili odlaganja, oslobađanja od regulatorne kontrole, izvoza, reciklaže i ponorne upotrebe u odobrenoj delatnosti. U slučajevima kada vraćanje izvora isporučiocu nije moguće, razmatraju se i druge opcije kao što su upotreba u drugim aplikacijama, prenos na drugog nosioca licence, reciklaža, a ukoliko ne postoji ni opcija za dalju upotrebu, isluženi SRS se proglašava za radioaktivni otpad i predaje nosioci licence za upravljanje centralnim skladištem radioaktivnog otpada.

ZAKLJUČAK

Širom sveta zabeležen je veliki broj akcidenata sa zatvorenim izvorma ionizujućeg zračenja, koji su nažalost dovele do smrti ljudi i/ili kontaminacije ljudi i velikih površina, a za čiju sanaciju su utrošene velike količine novca. Konsekvene pojedinih nesreća vidljive su i danas, pa adekvatno upravljanje predstavlja prioritet sa ciljem sprečavanje nezgoda ovog tipa. Svi zahtevi za bezbedno korišćenje zatvorenih izvora ionizujućeg zračenja i upravljanje isluženim zatvorenim izvorma ionizujućeg zračenja treba da budu dostupni pre početka njihove primene.

Izvori u upotrebi moraju biti pod strogom regulatornom kontrolom uz primenu sistema zaštite od ionizujućeg zračenja. Svako rukovanje, kondicioniranje, transport i/ili skladištenje zatvorenih izvora ionizujućeg zračenja predstavlja potencijalni radiološki rizik, pa je pre bilo kakve manipulacije izvorom neophodno isplanirati, sagledati i proceniti vrstu i prirodu svih potencijalnih rizika, proceniti dozu zračenja za svaku specifenu proceduru/fazu rukovanja izvorom, uzeti u obzir sve faktore koji mogu uticati na bezbednost i dovesti do potencijalne izloženosti radnika i/ili kontaminacije životne sredine.

EFIKASNOST I KAPACITET SORPCIJE JONA Ba^{2+} ZEOLITOM 4A I PRIRODNIM KLIKOPTILOLITOM I UTICAJ KOMPETICIJE SA JONIMA Sr^{2+}

Ivana SMIČIKLAS, Mihajlo JOVIĆ, Snežana DRAGOVIĆ

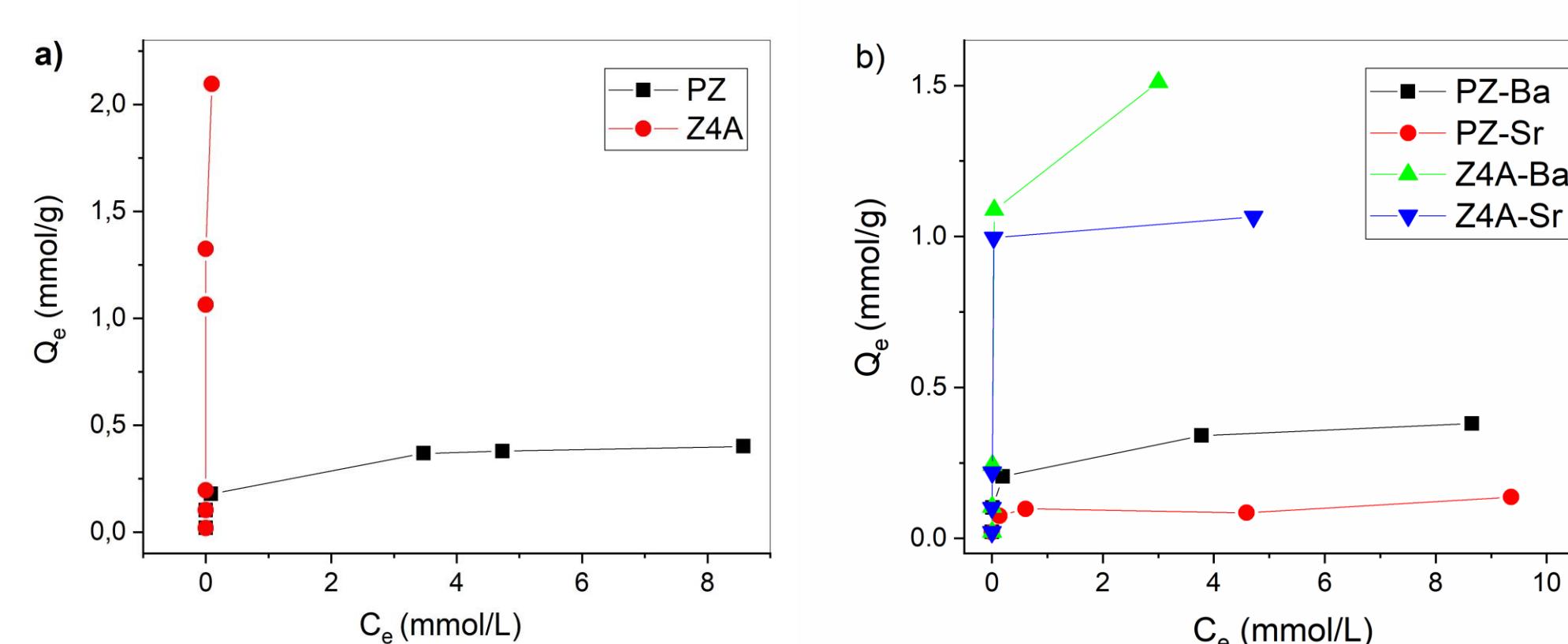
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd



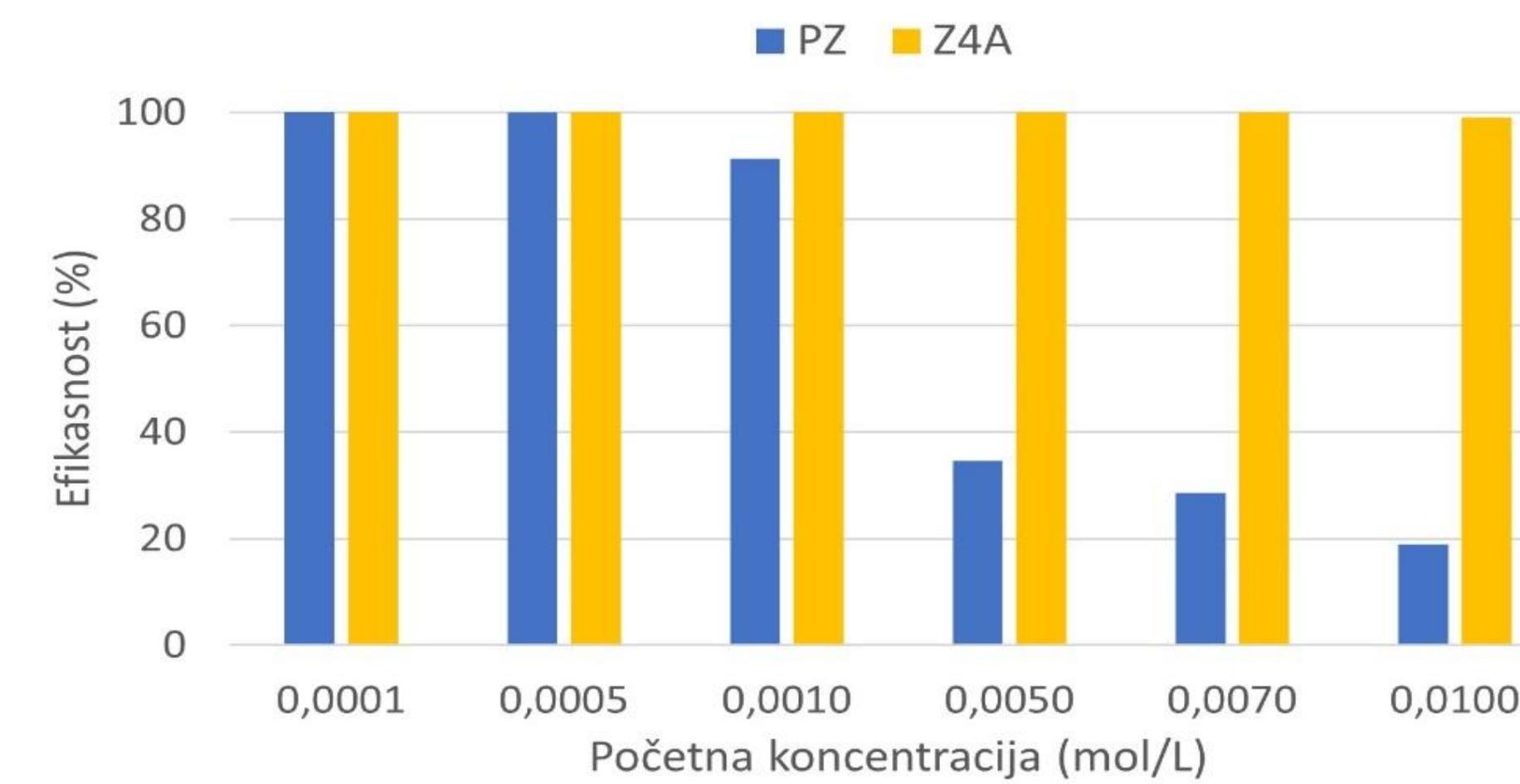
Uvod

Barijum (Ba) se u povišenim koncentracijama može javiti u zemljištu, sedimentima, rečnoj i morskoj vodi, kao i u otpadnim vodama iz poljoprivrede i raznih grana industrije [1]. Rastvorljive vrste Ba su veoma toksične, pa i u niskim koncentracijama u piće vodi predstavljaju uzrok ozbiljnih zdravstvenih problema. Svetska zdravstvena organizacija (SZO), koja generiše smernice o kvalitetu vode kao osnov za postavljanje standarda u zemljama širom sveta, propisuje granicu od 0,7 mg/L za Ba u piće vodi [2]. Takođe, prisustvo radioaktivnih izotopa Ba u životnoj sredini, posebno γ -emitera Ba-133 sa periodom poluraspada od 10,55 godina, može predstavljati značajan rizik po ljudsko zdravlje. Ovi izotopi su proizvodi fizijske nuklearnog goriva, a oslobađaju se putem efluenta koji sadrže radioaktivni otpad iz nuklearnih elektrana, prerađevanja nuklearnog goriva, akcidentima u nuklearnim elektranama, kao i testiranjem nuklearnog oružja [3]. Široka upotreba zeolita za uklanjanje radioaktivnih izotopa zasniva se na jonskoj izmeni, a velika ponuda prirodnih i sintetičkih proizvoda različitih fizičko-hemijskih karakteristika omogućava izbor optimalnog zeolita za konkretnu primenu [4]. Prisustvo kompetitivnih jonskih vrsta u složenom sastavu realnih matriksa može značajno da umanji efikasnost uklanjanja jona od interesa [5].

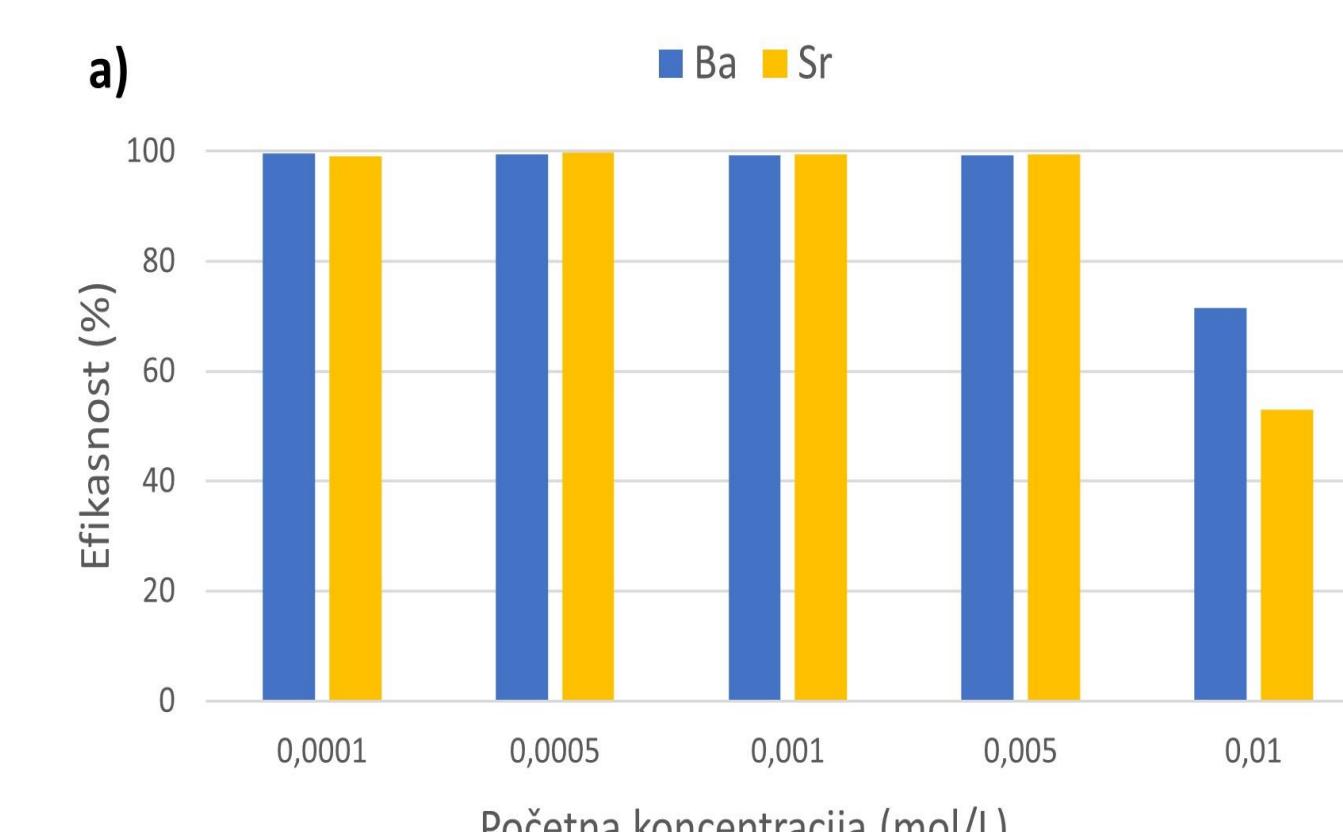
Rezultati



Slika 1: a) Sorpcione izoterme Ba, b) kompetitivne sorpcione izoterme jona Ba i Sr.



Slika 2: Efikasnost uklanjanja jona Ba zeolitima u funkciji početne koncentracije Ba



Slika 3: Efikasnost uklanjanja Ba i Sr jona iz ekvimolarnih smeša primenom zeolita 4A (a) i prirodnog zeolita (b).

Zaključci

- ✓ U uslovima kompeticije, maksimalni sorpcioni kapaciteti prate trend $\text{Ba} > \text{Sr}$ nezavisno od tipa zeolita. Kapacitet Z4A je značajno veći u odnosu na PZ (~ 4 puta veći za jone Ba i ~ 8 puta veći za jone Sr).
- ✓ Ukupni kapacitet sorpcije jona ($\text{Ba} + \text{Sr}$) se kod oba zeolita povećava u odnosu na kapacitet sorpcije Ba iz jednokomponentnih rastvora, što ukazuje na dostupnost novih aktivnih centara zeolita u uslovima kompetitivne sorpcije.
- ✓ Bez obzira na kapacitet sorbenta, proces će u praksi biti efikasan samo ukoliko su koncentracije/aktivnosti polutanata u rastvoru nakon tretmana ispod prihvatljivih sigurnih granica. I prirodni klinoptilolit i sintetički Z4A mogu biti efikasni sorbenti koegzistirajućih Ba i Sr jona, međutim, Z4A je efikasan u znatno većem opsegu njihovih početnih koncentracija.
- ✓ Nakon tretmana sa 5g/L Z4A, efikasnost procesa dekontaminacije simulirane otpadne vode je $> 99\%$ do početnih koncentracija Ba od 10^{-2} mol/L, odnosno, do koncentracije $5 \cdot 10^{-3}$ mol/L svakog od jona u dvokomponentnoj smeši.
- ✓ Rezultati ukazuju i na opravdanost korišćenja sintetičkog zeolita 4A u tretmanu industrijskih i drugih voda sa visokim koncentracijama toksičnih Ba jona.

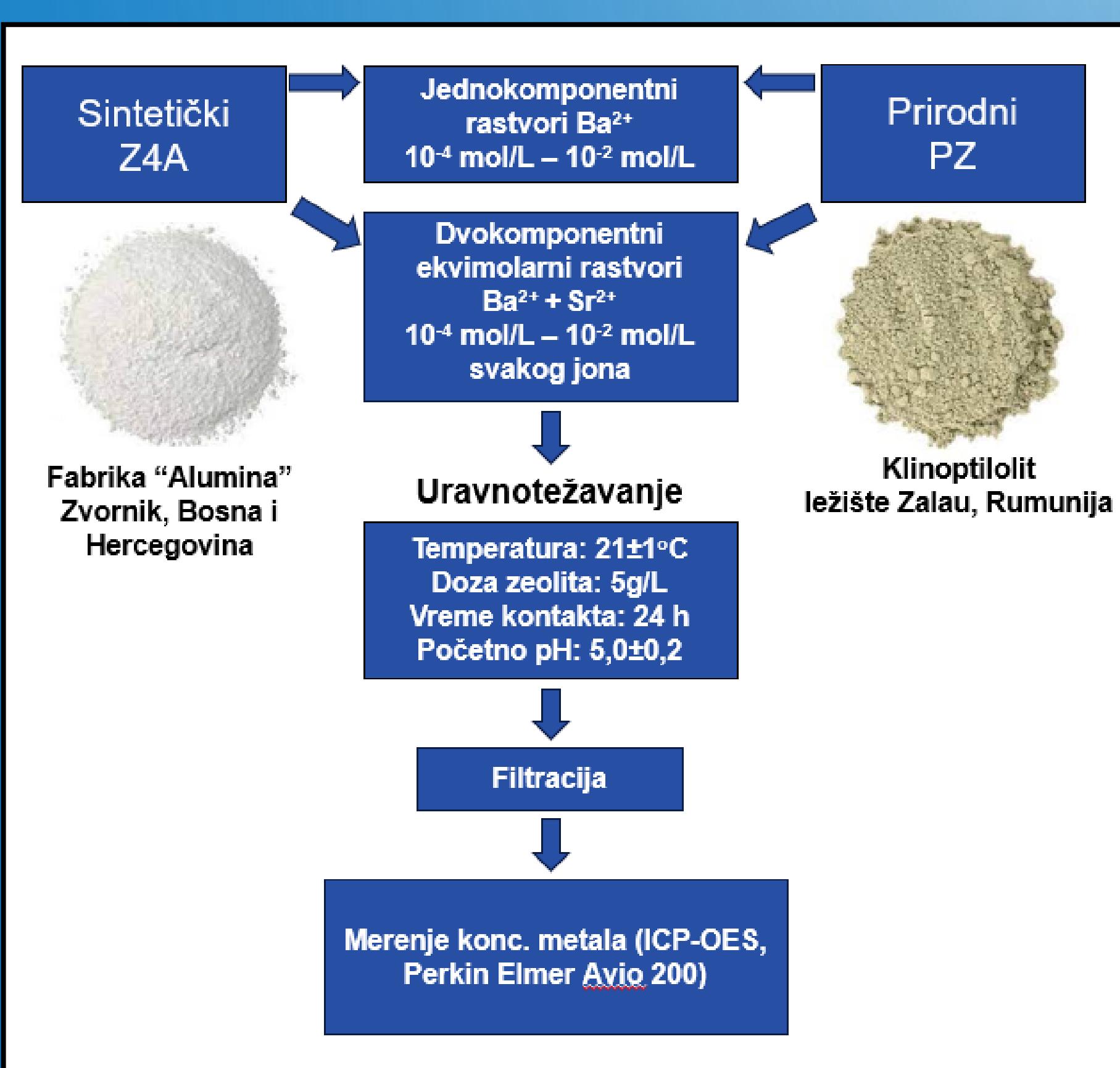
Literatura

- [1] H. A. Aziz, M. F. Ghazali, Y.-T. Hung, L. K. Wang. Toxicity, source, and control of barium in the environment, in: Handbook of Advanced Industrial and Hazardous Wastes Management, Eds: L. K. Wang, M.-H. S. Wang, Y.-T. Hung, N. K. Shammas, J. P. Chen, CRC Press, Boca Raton, 2017.
- [2] [\[2\] https://cpcb.nic.in/who-guidelines-for-drinking-water-quality/](https://cpcb.nic.in/who-guidelines-for-drinking-water-quality/)
- [3] Y. Peng, H. Huang, D. Liu, C. Zhong. Radioactive barium ion trap based on metal–organic framework for efficient and irreversible removal of barium from nuclear wastewater, ACS Applied Materials and Interfaces Vol.8 No.13, 2016, 8527–8535, ISSN:1944-8244.
- [4] M. Jiménez-Reyes, P.T. Almazán-Sánchez, M. Solache-Ríos. Radioactive waste treatments by using zeolites. A short review, Journal of Environmental Radioactivity Vol.233, 2021, 106610, ISSN:0265-931X.
- [5] I. Smičiklas, I. Coha, M. Jović, M. Nodilo, M. Šljivić-Ivanović, S. Smiljanić, Ž. Grahek. Efficient separation of strontium radionuclides from high-salinity wastewater by zeolite 4A synthesized from Bayer process liquids, Scientific Reports Vol.11, 2021, 1738, ISSN:2045-2322.

Ciljevi rada

Ciljevi ovog rada bili su da se (1) uporede efikasnosti uklanjanja Ba prirodnim zeolitom i sintetičkim zeolitom tipa 4A u uslovima ravnoteže i (2) ispita efekat kompetitivnih jona Sr na efikasnost i kapacitet sorpcije jona Ba zeolitima.

Eksperimentalni deo



Zahvalnica

Rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200017).

Trial operation of The Radioactive Waste Processing Plant without radioactive and nuclear materials

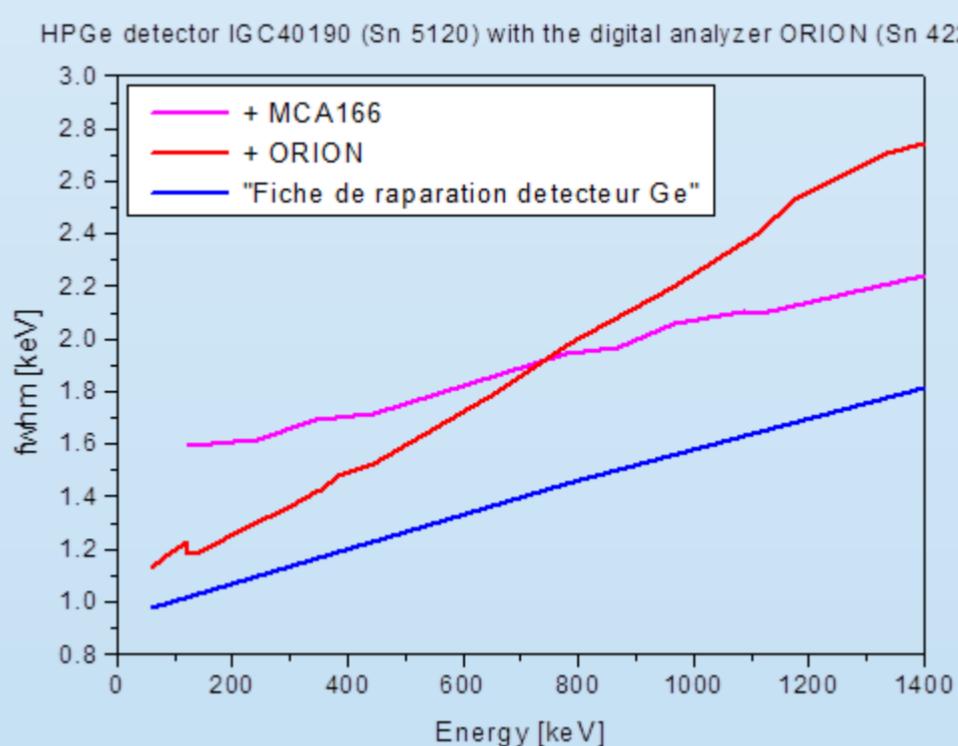
Branislav Radovanovic, Ivan Grujanac, Danijela Soldatovic,
Public Company „Nuclear Facilities of Serbia“

I Introduction

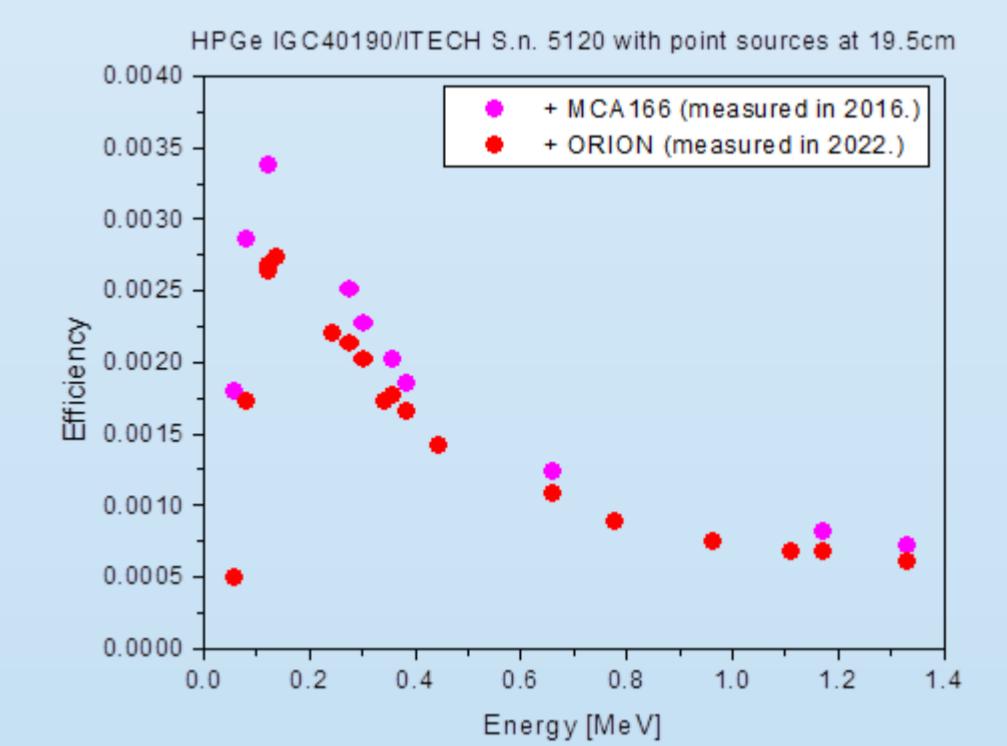
- After the revitalization and adaptation, the Laboratory for Transuranic Elements (Latransa) was repurposed and legalized as a Radioactive Waste Processing Facility (WPF).
- Next step: obtaining a nuclear activity License - trial-run of a nuclear facility (testings without and with radioactive and nuclear materials).
- First (cold) phase: to demonstrate the reliability of the operation of all infrastructure installations and safety/security systems, essential for the safe and secure operation of the nuclear facility, in order to proceed to trial operation with RW packages.
- Also, verify the correctness of the procedures for planned activities and the professional competence and training of the employees for work in the nuclear facility, both in regular operation and in the event of an accident.

III Results

Testing of the HPGe detector IGC40190 (Sn 5120) with the digital analyzer ORION (Sn 422)



Resolution of the HPGe detector IGC40190 (Sn 5120) with the analyzer ORION (Sn 422)



Efficiency of the HPGe detector IGC40190 for point sources at distance of 19.5 cm

- The desired resolution obtained during the repair of the Ge detector at ITECH Instruments in February 2022, we still cannot obtain;
- However, by choosing the operating parameters of the ORION digital analyzer, we succeeded to improve the resolution at lower energies (below 700 keV);
- The next step that awaits us is to improve the resolution for higher energies in the coming period.

II Object of testing and instruments



IV Conclusion

- The first phase showed that, in terms of safety and security structures of the infrastructure systems, the WPF is fully in a correct and functional state, and that in this respect the second phase can be approached.

Observed deficiencies:

- Equipment for the characterization of RAW that is currently available at the PPO plant, detector HPGe IGC4020/ITECH s/n 5120, can only be used for pre-characterization of RAW
- The defined work technology in the tent does not meet the conditions of safe and secure work of employees
- The existing work technology in the DSRS conditioning room needs to be fully defined

SECURITY CHALLENGES DUE TO THE APPEARANCE OF COUNTERFEIT, FAKE AND SUSPICIOUS ITEMS IN THE NUCLEAR SUPPLY CHAIN

Mirjana ĆUJIĆ, Mirjana RADENKOVIĆ, Ljiljana JANKOVIĆ MANDIĆ

"Vinča" Institute of Nuclear Sciences, Institute of National Importance for the Republic of Serbia,
University of Belgrade, Mike Petrovića Alasa 12-14, Belgrade, Serbia

PROCUREMENT PROCESS

- ✓ The nuclear industry has made significant progress in securing facilities from cyber attacks, but the supply chain remains vulnerable.
- ✓ Vendors, suppliers and the nuclear industry must verify the quality of items to ensure security.
- ✓ Only those products and services that demonstrate the highest quality should be used and that have internationally recognized standards.
- ✓ Suppliers must employ appropriately qualified, experienced personnel who have the authority to exclude any CFSIs in the supply chain.
- ✓ Verification involves extensive inspection of the critical physical characteristics of the items, combined with rigorous performance testing.

PROCUREMENT PROCESS LESSONS LEARNED

Low cost items and spare parts are the most frequent CFSIs

Majority of CFSIs originate from second tier suppliers based in parts of Asia and Africa

Counterfeit impact lead to high costs for the original equipment manufacturers in terms of delays, lost sales, product recalls, and even legal action.

RELEVANT INTERNATIONAL DOCUMENTS

Organisation	Document
International Atomic Energy Agency (IAEA) (Nuclear Energy Series)	Procurement Engineering and Supply Chain Guidelines in Support of Operation and Maintenance of Nuclear Facilities (NP-T-3.21)
	Managing Counterfeit and Fraudulent Items in the Nuclear Industry (NP-T-3.26)
	Industrial Involvement to Support a National Nuclear Power Programme (NG-T-3.4)
International Atomic Energy Agency (IAEA) (TECDOC)	Quality Assurance and Quality Control in Nuclear Facilities and Activities (No. 1910)
	Use of a Graded Approach in the Application of the Management System Requirements for Facilities and Activities (No. 1740)
Electric Power Research Institute (EPRI)	Plant Engineering: Guideline for the Acceptance of Commercial-Grade Items in Nuclear Safety-Related Applications (NP-5652 and TR-102260)
	Plant Support Engineering: Counterfeit and Fraudulent Items—Mitigating the Increasing Risk
	Plant Support Engineering: Counterfeit and Fraudulent Items—A Self Assessment Checklist
Nuclear Energy Agency (NEA)	Common Position on Counterfeit, Fraudulent, and Suspect Items Procedures and Policies (CP-VICWG-04)
Office for Nuclear Regulation (ONR)	Supply Chain Management Arrangements for the Procurement of Nuclear Safety Related Items or Services

FURTHER STEPS

- To review of current procedures and obligations within the suppliers chain stakeholders
- To identify the key persons in the procurement process
- To reconsider strengths, weaknesses and gaps in procurement processes
- To identify potential for improvements and changes

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the IAEA under CRP J02019 and the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (Contract 451-03-47/2023-01/200017).

Nebojša KRSTIĆ, Zoltan NAĐ, Danijel VELIMIROVIĆ, Dušan MRĐA, Sofija FORKAPIĆ

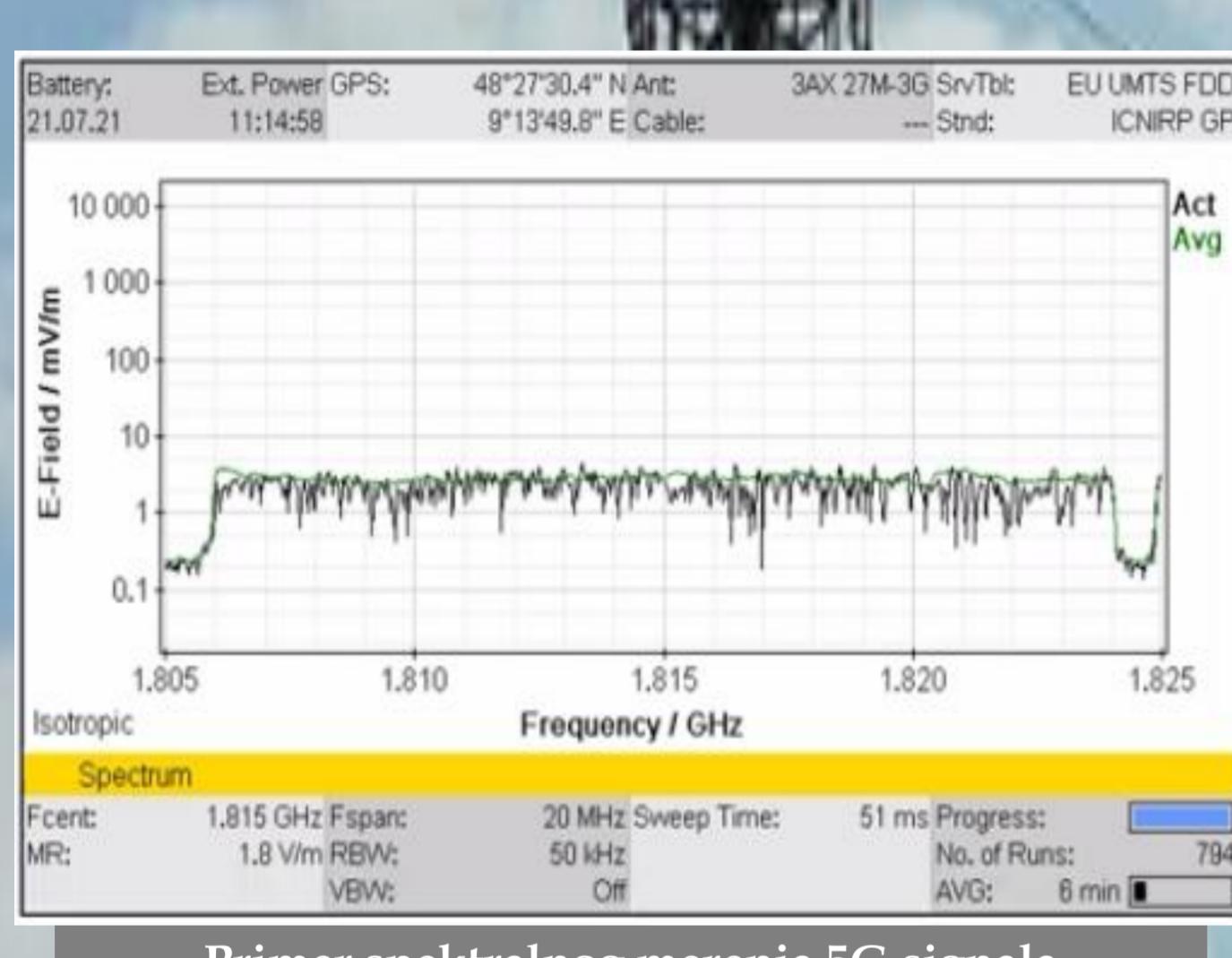
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija

nebojsa.krstic@df.uns.ac.rs

UVOD

Potreba korisnika za sve većim brzinama prenosa podataka i kvalitetom servisa uslovljava mobilne operatore da i dalje unapređuju postojeće mreže. Jedan od glavnih ciljeva kod dizajna mobilnih komunikacionih tehnologija je da se ponude veće brzine, niže kašnjenje i ili masivna povezanost većeg broja korisnika/uredaja uz smanjenja potrošnje energije. Kako je uvođenje pete generacije (5G) mobilnih telekomunikacija uveliko u toku, potrebne su standardizovane metode za procenu izloženosti ljudi radiofrekventnim elektromagnetskim poljima sa radio baznih stanica 5G. Uvođenje novih izvora emisije, koji rade paralelno sa već postojećim 2G/3G/4G mobilnim tehnologijama, izaziva zabrinutost oko prekoračenja dozvoljenih granica izloženosti EM polja. Zahtev međunarodnog standarda SRPS EN IEC 62232:2022 je da se merenja sprovode kada bazna stanica radi sa maksimalnom predajnom snagom. S obzirom da je predajna snaga promenljiva u vremenu i zavisi od opterećenja bazne stanice saobraćajom korisnika, procena maksimalnog polja se vrši ekstrapolacijom izmerenih signala koji se emituju konstantnom predajnom snagom.

Ovaj rad analizira pitanja i izazove u vezi sa merenjem EM polja, koji su ključni za procenu usklađenosti EM polja sa regulatornim ograničenjima. Prikazani su i diskutovani rezultati verifikacije i implementacije nove verzije standardne metode SRPS EN IEC 62232:2022 za određivanje jačine RF polja, gustine snage i SAR u blizini radiokomunikacionih baznih stanica radi procene izloženosti ljudi.



Primer spektralnog merenja 5G signala

METODE MERENJA

Procena maksimalnog polja se vrši ekstrapolacijom izmerenih signala koji se emituju konstantnom predajnom snagom.

Mobilna telefonija druge generacije (2G) GSM:

$$E_{MAX} = \sqrt{n_{TRX}} \cdot E_{BCCH}$$

gde je n_{TRX} ukupan broj predajnika u sektoru.

Mobilna telefonija treće generacije (3G) UMTS:

$$E_{MAX} = \sqrt{n_{CPICH}} \cdot E_{CPICH}$$

gde je n_{CPICH} odnos između maksimalne snage i snage dodeljene CPICH kanalu. Tipična vrednost za n_{CPICH} je 10 (tj. 10% ukupne snage dodeljene CPICH kanalu).

Mobilna telefonija četvrte generacije (4G) - LTE:

$$E_{MAX} = \sqrt{n_{PBCH}} \cdot E_{PBCH}$$

gde je n_{PBCH} odnos između maksimalne snage i snage dodeljene PBCH kanalu bazne stанице. U ovom slučaju usvojimo da je Power Boosting Factor isključen. Pri čemu je:

$$E_{PBCH} = \sqrt{E_{RS0}^2 + E_{RS1}^2 + E_{RS2}^2 + E_{RS3}^2}$$

gde je E_{RS0} , E_{RS1} , E_{RS2} i E_{RS3} intenzitet električnog polja koji potiču od referentnog signala sa antenskih portova kod baznih stаница sa MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 2x2 ili 4x4 sistemima.

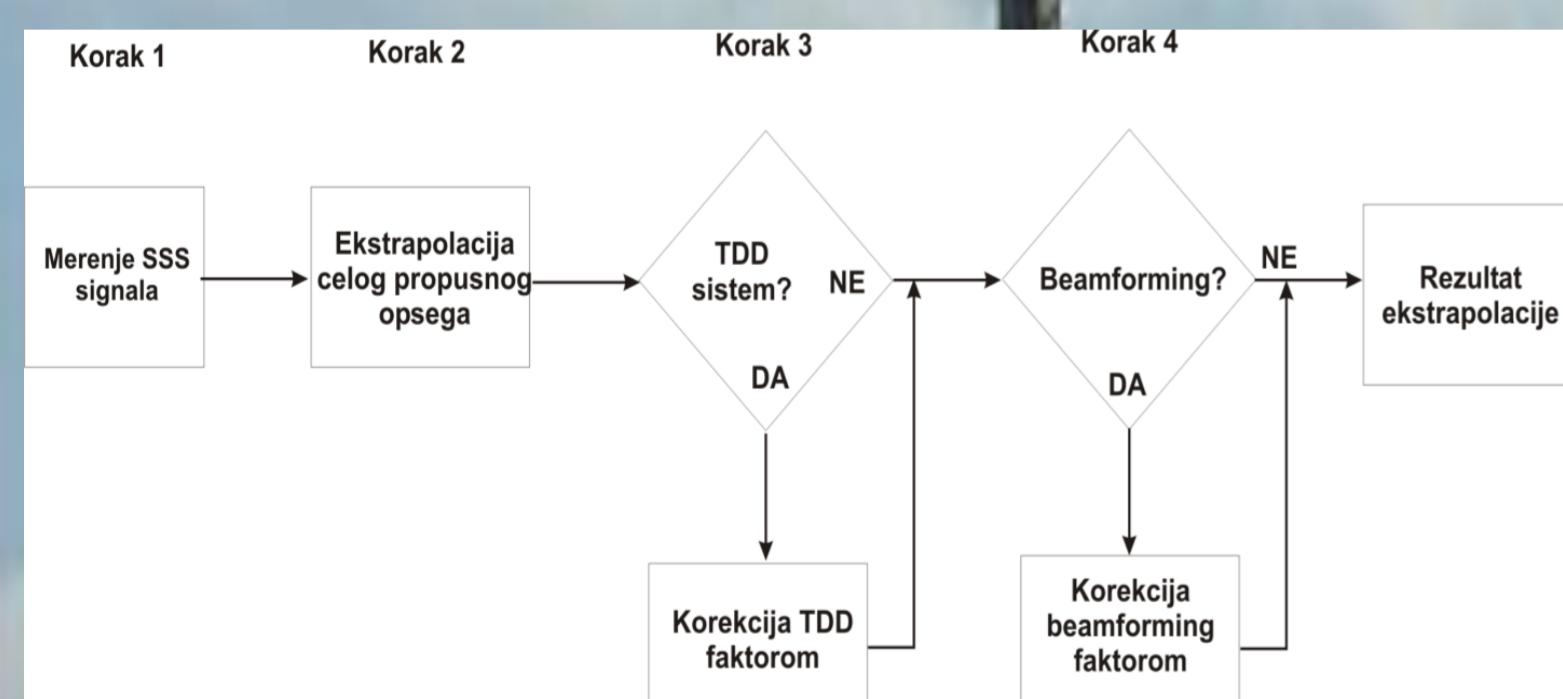
Mobilna telefonija pete generacije (5G):

$$E_{MAX} = \sqrt{F_{BW} \cdot F_{PR} \cdot F_{TDC}} \cdot E_{SSS}$$

gde je, F_{BW} odnos ukupne širine propusnog opsega nosioca i podnosioca za svaku kombinaciju SCS (subcarrier spacing) za frekvencije do 6 GHz dat u tabeli:

F_{PR} je redukcijski faktor koji se koristi kod beamforming, u suprotnom se postavlja na 1. F_{TDC} je 1 ako se koristi FDD, ako se koristi TDD, potrebno je smanjenje snage između uplink i downlink.

REZULTATI



Procedura ekstrapolacije 5G signala prikazana u četiri koraka

F_{BW} odnos ukupne širine propusnog opsega nosioca i podnosioca za svaku kombinaciju SCS

SCS kHz	Bandwidth (MHz)												
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
15	300	624	948	1272	1596	1920	2592	3240	-	-	-	-	-
30	132	288	456	612	780	936	1272	1596	1944	2268	2604	2940	3276
60	-	132	216	288	372	456	612	780	948	1116	1284	1452	1620

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

- ✓ Laboratorija za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu je za period od 2009. godine do danas, kao akreditovana laboratorija, izvršila više od 1500 merenja u okolini baznih stаница mobilne telefonije. Najveća zastupljenost tehnologija do 2017. godine je GSM, DCS i UMTS. Od 2015. godine je počeo značajan broj kolociranja LTE tehnologije sa GSM i UMTS sistemima. Danas možemo da zapazimo da je najzastupljenija tehnologija LTE i da je primetno da se na frekvencijama gde su bili zastupljeni DCS i UMTS sistemi sada zamenjuju sa 4G sistemima.
- ✓ Implementacijom VoLTE (Voice over LTE) tehnologije stekli su se uslovi za potpuno gašenje UMTS mreža, a oslobođeni infrastrukturni i frekvencijski resursi mogli bi biti efikasno angažovani za povećanje kapaciteta LTE mreža ili za uvođenje 5G mobilnih mreža.
- ✓ Primeri procene maksimalnog polja prikazani u ovom radu pokazuju da su 4G i 5G tehnologije kada rade sa minimalnim korisničkim saobraćajem, za period "noćnih sati" (23h-9h), emituju 10 do 20 puta manje izlaganje ljudi elektromagnetskim poljima u odnosu na 2G i 3G sisteme. Za period "aktivnih sati" (9h-23h) sve tehnologije, posebno u gradskim sredinama, radiće sa približno maksimalnim korisničkim saobraćajem.
- ✓ Ako posmatramo period u poslednjih 10 godina, može se primetiti da se izlaganje ljudi elektromagnetskim poljima konstantno povećava i to približno 2 puta na svakih 3 do 4 godine. Razlog je veći broj baznih stаница i veći broj kolokacija različitih tehnologija ili različitih operatora. Takođe, razlog je i veći broj mobilnih korisnika i sve više sati korišćenja mobilnih uređaja u toku dana. Ovdje nije uzeto u obzir izlaganje koje dolazi od mobilnih uređaja, a koje može biti značajno.
- ✓ Manje izlaganje ljudi elektromagnetskim poljima je moguće jedino ako se koriste energetski efikasnije i štedljivije tehnologije i kada je u pitanju slanje i primanje podataka. Dobra pokrivenost signalom područja gde ljudi često provode vreme može smanjiti izražene snage mobilnih uređaja i na taj način smanjiti i izlaganje ljudi elektromagnetskim poljima.