

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-13744  
Ljubljana, februar 2022

# Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2021

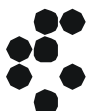


*Izvajalca meritev:*

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, Slovenija

Zavod za varstvo pri delu (ZVD), d.o.o., Ljubljana, Slovenija

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**





**Naročnik:** Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO), Litostrojska cesta 58A,  
1000 Ljubljana

**Izvajalec:** Institut "Jožef Stefan" (IJS), Jamova 39, 1000 Ljubljana

**Naslov poročila:** Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov  
v Brinju – POROČILO ZA LETO 2021

**Odgovorni nosilec naloge:** dr. Marijan Nečemer

**Avtorja poročila:** mag. Matjaž Stepišnik, dr. Marijan Nečemer

**Štev. del. poročila IJS:** IJS-DP-13744

**Štev. projekta ARAO:** 09-01-002  
**Štev. pogodbe ARAO:** ARAO P018/2021

**Izvajalci meritev na IJS:** Boštjan Črnič, mag. med. fiz., mag. Denis Glavič-Cindro,  
Sandi Gobec, dr. Marijan Nečemer, dr. Toni Petrovič,  
Klara Poiškruh, mag. med. fiz., mag. Branko Vodenik,  
doc. dr. Benjamin Zorko

**Izvajalec meritev na ZVD:** Peter Jovanovič, inž. fiz.

**Kopije:** ZIC (IJS knjižnica)  
arhiv enote  
ARAO

*Izvedba meritev je usklajena z zahtevami programov za zagotovitev kakovosti IJS.*

	<i>Ime in priimek</i>	<i>Datum</i>	<i>Podpis</i>
<i>Pripravil</i>	mag. Matjaž Stepišnik		
<i>Pregledala</i>	dr. Marijan Nečemer mag. Denis Glavič-Cindro		
<i>Odobril</i>	prof. dr. Boštjan Zalar		

**Slika na naslovnici:** Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov in raziskovalni reaktor v Brinju  
(fotografija IJS)



IJS-DP-13744  
februar 2022

**NASLOV POROČILA:**

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –  
Poročilo za leto 2021

**KLJUČNE BESEDE:**

radioaktivno onesnaženje okolja, tekočinski radioaktivni izpusti, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, doza zunanjega sevanja, ocena učinkovitih doz, referenčna oseba iz prebivalstva

**POVZETEK:**

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov so podani z ocenami učinkovitih doz. V letu 2021 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na  $< 0,1 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

---

IJS-Report-13744  
February 2022

**REPORT TITLE:**

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –  
Report for the year 2021

**KEYWORDS:**

Radioactive contamination of the environment, liquid radioactive effluents, man-made and natural radionuclides, specific activity, external radiation doses, effective dose assessment, reference population group

**ABSTRACT:**

Summarized results of radioactivity of man-made and natural radionuclides are presented and conservative dose burdens are estimated. In the year 2021 the effective dose is conservatively estimated to  $< 0.1 \mu\text{Sv}$  per year for the reference person (local farmer).



## VSEBINA

<b>1</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Ovrednotenje meritev .....</b>	<b>5</b>
2.1	POVZETEK .....	5
2.2	VZORČEVALNA MESTA .....	6
2.3	MERITVE EMISIJ .....	7
2.3.1	VODA (podzemni zbiralnik) .....	7
2.3.2	ZRAK (radon v skladišču) .....	7
2.4	MERITVE V OKOLJU .....	9
2.4.1	ZUNANJE SEVANJE .....	9
2.4.2	ZRAK (radon v okolju) .....	13
2.4.3	VODA (podtalnica) .....	14
2.5	VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI .....	15
2.5.1	MERITVE KONTAMINACIJE TAL .....	15
2.5.2	TALNI USED .....	15
<b>3</b>	<b>Ocena vpliva na okolje .....</b>	<b>17</b>
3.1	Atmosferski izpusti .....	17
3.2	Tekočinski izpusti .....	19
3.3	Ocena prejete doze .....	19
<b>4</b>	<b>Merski rezultati .....</b>	<b>21</b>
4.1	Program obratovalnega monitoringa .....	21
	(A) - Meritve emisij (meritve izpustov) .....	21
	(B) - Meritve imisij (meritve v okolju) .....	22
	(C) – Vzdrževanje pripravljenosti .....	23
4.2	Tabele meritev programa A, B in C .....	24
4.2.1	Voda (podzemni zbiralnik) .....	24
4.2.2	Zunanje sevanje .....	24
4.2.3	Zrak .....	25
4.2.4	Voda (podtalnica) .....	25
4.2.5	Meritve kontaminacije tal .....	26
4.2.6	Talni used .....	26
4.3	Enote in nazivi količin .....	27
4.4	Orientacijske spodnje detekcijske meje za VL spektrometrijo gama .....	28
4.5	Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa .....	29
4.6	Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev .....	30
4.6.1	International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo .....	30
4.6.2	IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija .....	32
4.7	Referenčna dokumentacija .....	35



## 1 UVOD

V poročilu so podani in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju za leto 2021. Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program obratovalnega monitoringa radioaktivnosti, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, Poglavlje 13, rev. 2, ARAO-04-01-026-001, april 2018. Program je bil odobren s strani URSJV z odobritvijo Varnostnega poročila. Program je skladen s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur. l. RS, št. 27/18).

Poročilo obsega evalvacijo letnih doznih obremenitev za glavne prenosne poti izpostavitve. Ovrednotenje merskih podatkov je bilo opravljeno na podlagi poročil o rezultatih meritev. Rezultati meritev so predstavljeni v obliki tabel v poglavju Merski rezultati.

Izvajalca programa vzorčenja in meritev sta Institut "Jožef Stefan" (IJS) in Zavod za varstvo pri delu (ZVD). Obe organizaciji imata pooblastilo URSJV za izvajanje monitoringa radioaktivnosti.

Koncentracije sevalcev gama v vzorcih vode in talnem usedu so bile izmerjene v *Laboratoriju za meritve radioaktivnosti (LMR) na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2), IJS*. Meritve so bile izvedene v skladu s sistemom zagotovitve kakovosti, ki ustreza zahtevam standarda *SIST EN ISO/IEC 17025:2017*. LMR je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji (št. akreditacijske listine LP-022). Meritve doze zunanjega sevanja TLD so opravili sodelavci *Laboratorija za termoluminiscenčno dozimetrijo*, ki deluje v okviru *Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na IJS*. *Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo* je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje osebne in okoljske dozimetrije. Z akreditacijsko listino št. LP-022 z dne 4. 7. 2005 laboratoriju Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda *SIST EN ISO/IEC 17025* pri tej dejavnosti.

Meritve koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi so opravili sodelavci *Zavoda za varstvo pri delu (ZVD)* po postopku akreditiranem pri Slovenski akreditaciji pod št. LP-032, skladno s standardom *SIST EN ISO/IEC 17025:2017*.

V letu 2021 je ARAO v skladiščnem prostoru CSRAO in na širšem območju lokacije CSRAO opravljal rutinska dela, kot so vnosi in iznosi paketov RAO, redni pregledi, preizkusi in vzdrževanja SSK, ter vodil strokovne ogleda.

V mesecu februarju in novembru je v skladiščnem prostoru CSRAO potekala priprava na odvoz skladiščenih ionizacijskih javljalnikov požara z virom sevanja Am-241 za recikliranje v tujino.

Meseca maja je ARAO opravil izpraznitev prekata št. 2. Izvedel je pregled stanja vseh skladiščenih paketov v tem prekatu, pregled sten in tal, pripadajočih instalacij prekata ter očistil površine. V avgustu in decembru je nadaljeval z meritvami VLG na paketih, ki izhajajo iz sanacije objekta v Zavratacu. Na teh izbranih paketih je bil opravljen tudi vizualni pregled zunanje embalaže in oznak ter kontrolne meritve hitrosti doz zunanjega sevanja gama.



## 2 OVREDNOTENJE MERITEV

### 2.1 POVZETEK

Redni obratovalni monitoring radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov na Brinju obsega meritve emisij (meritev izpustov), meritve imisij (meritev v okolju) in meritve za vzdrževanje pripravljenosti. Izpostavitve sevanju se ocenjuje na podlagi meritev izpustov (emisij) in z uporabo ustreznih modelov, saj so rezultati meritev v okolju običajno pod mejo detekcije.

#### Emisije

Meritve emisij obsegajo meritve radona v skladiščnem prostoru objekta CSRAO. Na podlagi teh meritev smo s pomočjo izdelanega modela ocenili atmosferske izpuste radona. Radon izhaja iz odpadkov, ki vsebujejo radioaktivne elemente uranovega razpadnega niza (z radijem Ra-226 kontaminirani odpadki). Del radona v CSRAO je tudi posledica prehajanja radona v prostor skozi stene in talno ploščo. Deleža prispevka radonskega toka iz naravnega okolja (prehod radona skozi stene) ni mogoče ovrednotiti.

Na podlagi opravljenih meritev smo ocenili, da je bila povprečna letna hitrost izpuščanja radona iz skladišča okoli 13 Bq/s. Opažamo postopen trend naraščanja izpustov, ki pa so še vedno bistveno nižji od ocenjenih izpustov pred letom 2009. Izrazito zmanjšanje izpustov po letu 2009 je bilo posledica prepakiranja in dobre zatesnitve radijevih odpadkov v novo embalažo v letu 2008. Skupni povprečni letni izpust radona v letu 2021 ocenjujemo na okoli 0,42 GBq, kar je mnogo nižje od obratovalnega dovoljenja (6,3 GBq/leto ali 200 Bq/s).

CSRAO je pasiven objekt in redno ne proizvaja tekočih izpustov. V preteklih letih smo v podzemnem rezervoarju, kjer se zbirajo odpadne vode iz umivalnice in kondenzat sušilne naprave, lahko občasno zaznali prisotnost umetnih radionuklidov v sledovih (daleč pod dopustnimi mejami). V tem letu je bil od umetnih radionuklidov zaznan le Cs-137, ki je posledica globalne kontaminacije.

#### Imisije

Meritve imisij obsegajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri, meritve koncentracije aktivnosti podtalnice in meritve radona v okolici objekta CSRAO. Meritve zunanjega sevanja kažejo, da raven sevanja pade na naravno ozadje že v neposredni bližini tovornih vrat objekta CSRAO. Rezultati meritev kažejo, da objekt CSRAO nima vpliva na podtalnico. Meritve radona v neposredni okolici objekta CSRAO kažejo običajne koncentracije v okolju. Zaradi majhnih izpustov vpliva radona v okolju ni mogoče zaznati z obstoječimi merilnimi metodami.

#### Ocena izpostavitve

Pri izpostavljenosti referenčne osebe iz prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri skupine: varnostnika reaktorskega centra, ki se giblje okoli objekta CSRAO, okoliškega kmeta, ki se zadržuje na zunanji strani ograje reaktorskega centra in delavca IJS, ki ima pisarno v neposredni bližini objekta CSRAO.

**Efektivna letna doza zaradi vdihavanja radona in potomcev, ki jo je po tem modelu prejel okoliški kmet, je < 0,1  $\mu$ Sv. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Reaktorskem centru, je < 2  $\mu$ Sv. Na podlagi teh ocen lahko zaključimo, da je bilo tveganje za prebivalstvo**



zanemarljivo.

## 2.2 VZORČEVALNA MESTA

Na sliki 1 so podane lokacije vzorčenja iz programa nadzora radioaktivnosti za leto 2021.







*Slika 1:* Shematski prikaz vzorčevalnih mest

## 2.3 MERITVE EMISIJ

### 2.3.1 VODA (podzemni zbiralnik)

Vzorčenje odpadne vode poteka iz podzemnega zbiralnika, ki je bil zgrajen na lokaciji (slika 1, lokacija O1) ob pomožnem objektu. V njem se zbira odpadna sanitarna voda iz umivalnice prostorov za osebje in kondenzat sušenja zraka iz skladiščnega prostora objekta CSRAO. Vzorčenje in meritve vode v podzemnem zbiralniku je opravil IJS v juliju 2021. Tekočinski vzorec (~50 L) je bila analiziran po izparevanju (koncentriranju) in homogenizaciji. Rezultati meritev so podani v tabeli 4.

V podzemnem zbiralniku običajno izmerimo Cs-137, ki je prisoten povsod v okolju zaradi globalne kontaminacije. V tem letu je bila izmerjena aktivnost Cs-137 0,4 Bq/m<sup>3</sup>. V preteklih letih smo izmerili zelo podobne aktivnosti, ki so primerljive s podatki o koncentracijah Cs-137 v površinskih vodah ali v pitni vodi iz vodovoda.

Umetni radionuklid Am-241 v zadnjih letih ni bil zaznan. Nazadnje je bil opažen v letu 2014, ko je bila njegova koncentracija na meji detekcije. Podobno v zbiralniku nismo zaznali niti prisotnosti Co-60, ki se je občasno pojavljal v teh vzorcih.

Koncentracije večine naravnih radionuklidov v podzemnem zbiralniku so običajne za površinske ali podzemne vode v naravnem okolju. Višjo koncentracijo aktivnosti smo zaznali le pri K-40, katerega izmerjena aktivnost v letu 2021 je bila 460 Bq/m<sup>3</sup>. Slednja aktivnost je verjetno povezana z čiščenjem objekta, saj se ostanki čiščenja spirajo v podzemni zbiralnik.

### 2.3.2 ZRAK (radon v skladišču)

Vsako leto se izvajajo kontinuirne meritve radona v skladiščnem prostoru (enkrat v poletnem in enkrat v zimskem obdobju). Na ta način se nadzira stanje embalaže, v kateri je Ra-226. Meritve običajno trajajo tri tedne pri zaprtem in neprezračevanem skladiščnem prostoru. Najvišja (ravnovesna) koncentracija je dosežena v približno 14 dneh. Takrat se vzpostavi ravnovesje med nastajanjem, razpadom in izpusti radona iz skladiščnega prostora. Radon je žlahtni plin, ki kljub temu, da zatesnimo vse prezračevalne odprtine, še vedno uhaja iz prostora skozi špranje in majhne razpoke.

Meritve radona sta vzporedno opravila ZVD in Služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnimi merilniki radona AlphaGuard in sicer v poletnem obdobju od 18. 6. 2021 do 5. 7. 2021 ter v zimskem obdobju od 22. 12. 2021 do 5. 1. 2022. Merilnika sta bil nameščena med prekatoma 3 in 4. Odstopanja med meritvami ARAO in ZVD so bila v okviru merilne negotovosti.

V zimskem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli 8 000 Bq/m<sup>3</sup> z največjo izmerjeno vrednostjo 8 032 Bq/m<sup>3</sup> (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih je bila višja in sicer okoli 9 500 Bq/m<sup>3</sup> z največjo izmerjeno vrednostjo 9 664 Bq/m<sup>3</sup>. V zimskem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija manj zanesljiva zaradi nestabilnih vremenskih pogojev (nihanja v zračnem tlaku) in krajšega časa meritve. Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanega tlaka in vremenske motnje. V poletnem obdobju pa so bile vremenski pogoji zelo dobri za izvedbo meritev. V splošnem je trend, da so višje koncentracije v poletnih mesecih, kot v zimskih, kar je podobno kot v kraških jamah.

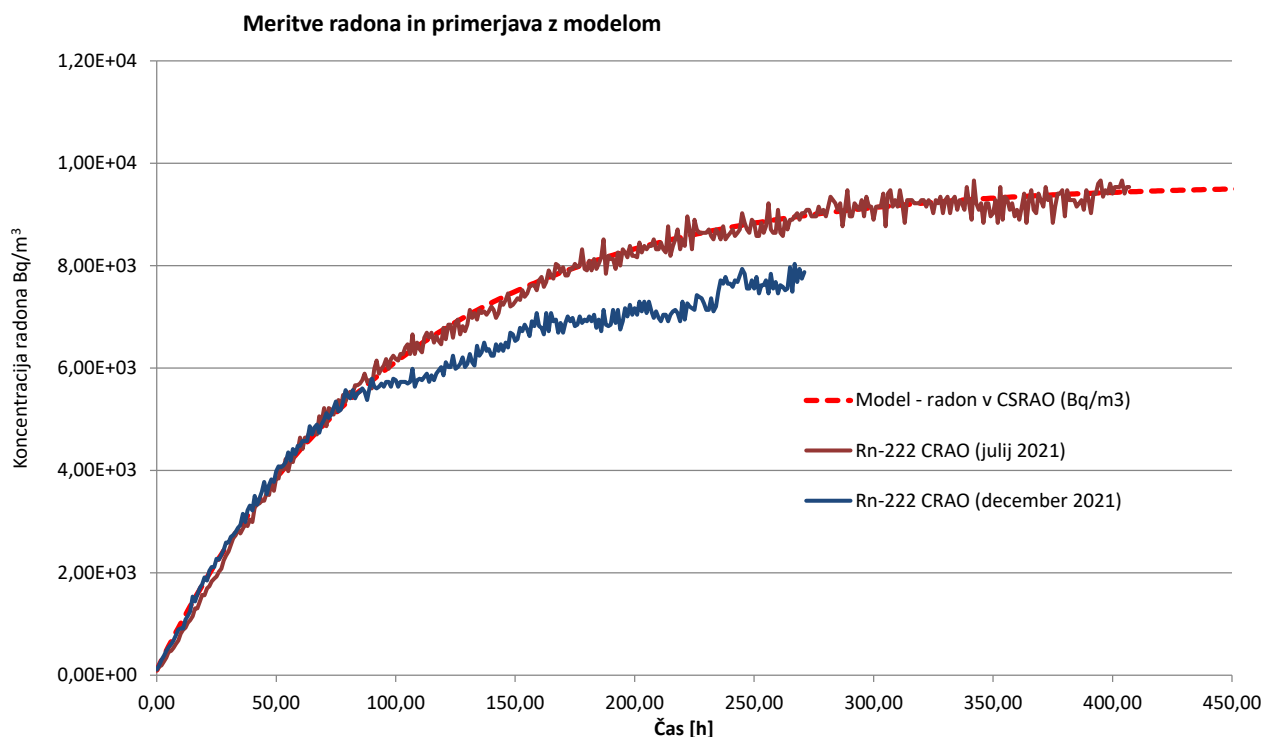




V preteklih letih se je koncentracija radona v skladiščnem prostoru izrazito spreminjala. Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputah za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okoli 20 000 Bq/m<sup>3</sup>. Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij in boljše tesnosti objekta CSRAO. Leta 2008 je potekal projekt prepakiranja RAO ("Izboljšanje ravnanja z institucionalnimi RAO v Sloveniji"). V okviru projekta so bili prepakirani tudi radijevi odpadki. Radij, ki je bil vzrok za visoke koncentracije radona, je bil hermetično zavarjen v novo embalažo. Najpomembnejše je bilo prepakiranje soda, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračevanem skladiščnem prostoru po tem letu padla pod 6 000 Bq/m<sup>3</sup>.

Sedaj opažamo postopen trend naraščanja koncentracije v skladišču, ki je trenutno že dosegla koncentracije okrog 10 000 Bq/m<sup>3</sup>. Povišane koncentracije so nedvomno povezane s povečanim virom radona, ki je najverjetneje posledica novih radioaktivnih odpadov ali tudi posledica degradacije stare embalaže, ki vsebuje Ra-226. Predlagamo, da ARAO poskuša ugotoviti kateri RAO predstavlja največji radonski vir skladišča. To je mogoče ugotoviti z aktivnimi meritvami radona v sodu površniku, v katerega predhodno vložimo potencialno problematične pakete. Na ta način se oceni radonski tok iz posameznega paketa.

Izpuste radona v okolje se ocenjuje preko meritev trenutne koncentracije radona v skladiščnem prostoru. Po enaki metodologiji smo iz meritev naraščanja koncentracije radona pri neprezračevanem in zaprtem skladiščnem prostoru ocenili izpuste radona v okolje (glej poglavje Atmosferski izpusti). Radon se preko ventilacijskega sistema širi v okolje, medtem ko radonovi potomci ostanejo na filtrih.



**Graf 1:** Rezultati meritev spreminjanja koncentracije radona v CSRAO po ustavitvi prezračevanja,



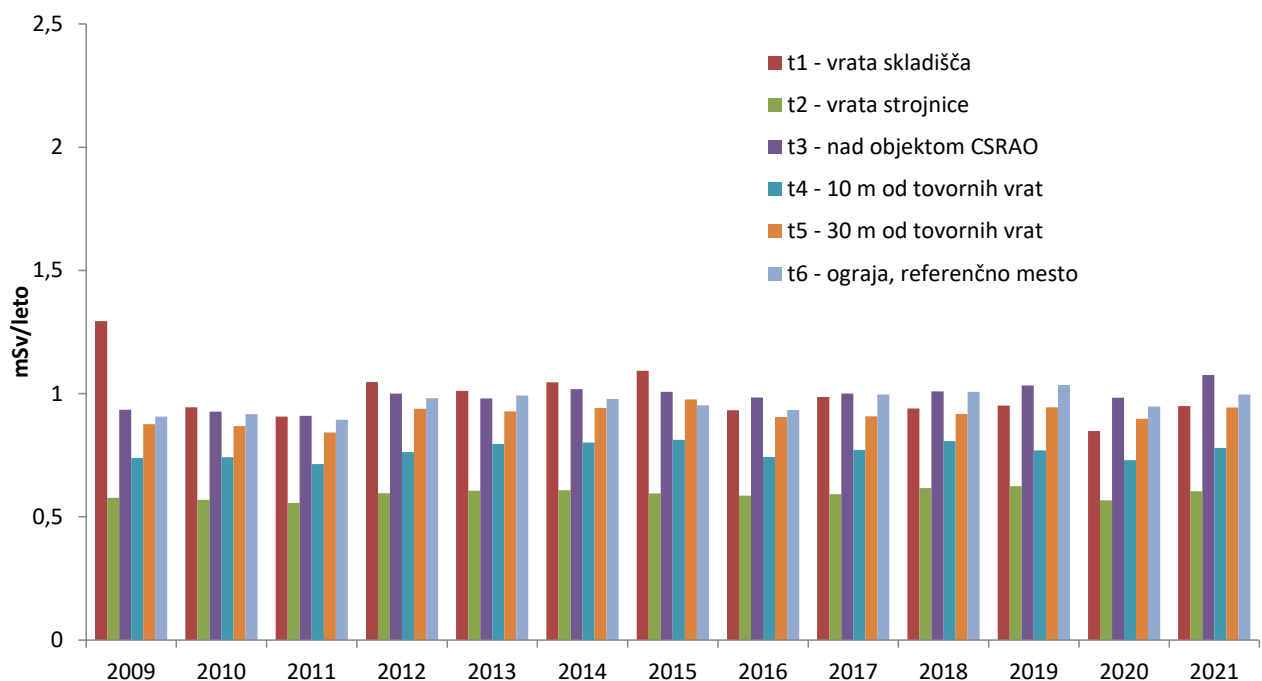
izmerjene v poletnem in zimskem obdobju. Na grafu je tudi krivulja, ki jo dobimo s prileganjem modelskih parametrov na realne poletne meritve.

## 2.4 MERITVE V OKOLJU

### 2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

V okviru nadzora se izvajajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri na petih lokacijah in sicer na vratih skladišča, na vratih strojnice, nad objektom CSRAO, 10 m od tovornih vrat CSRAO in 30 m od tovornih vrat CSRAO. TL dozimetri se menjavajo enkrat mesečno. Dodatno se izvajajo meritve tudi na referenčnem mestu na ograji Reaktorskega centra. Rezultati meritev so v tabeli 5 ter na grafih 2 in 3. Meritve je opravil IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, Laboratorij za TLD.

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze  $H^*(10)$ ) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,95 mSv (0,85 mSv v letu 2020), nekoliko višja pa na strehi 1,08 mSv CSRAO (0,98 mSv v letu 2020). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje sevanje v neposredni okolici CSRAO primerljivo z naravnim ozadjem, ki je okrog 1 mSv (merjeno s TLD). Zunanje sevanje je bistveno nižje od zakonskih omejitev opredeljenih za mejo medo običajnim in opazovanim območjem (povprečna hitrost doze v 8 urah 0,5  $\mu$ Sv/h). Nizke hitrosti doze so posledica prepakiranja RAO v ustrežnejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanjega sevanja na okolje.



**Graf 2:** Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letne doze)

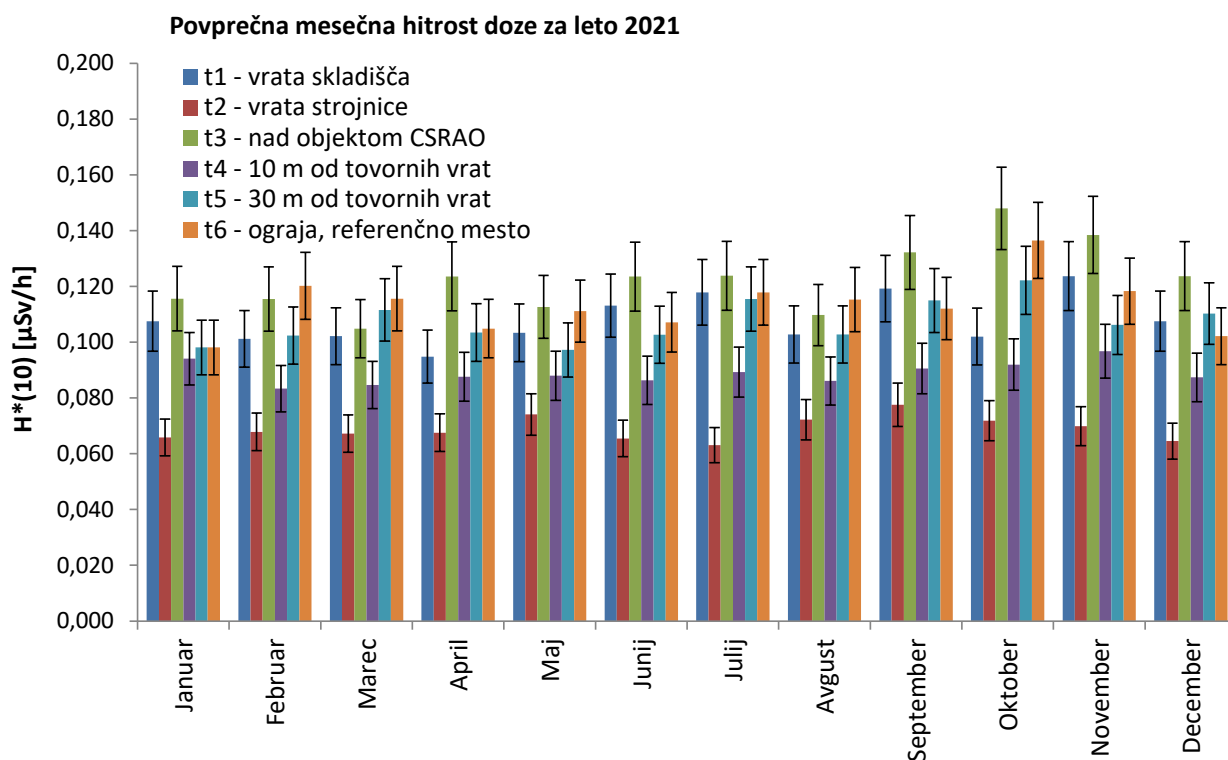
Pri analizi in primerjavi rezultatov meritev (tabela 5) je treba upoštevati, da je merilni cikel za posamezni mesec lahko različen od dejanskega števila dni, zato smo na grafu 3 primerjali povprečne hitrosti doze v posameznem mesecu in ne mesečne kumulativne doze.

Iz grafa 3 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena mesečna povprečna hitrost doze 0,148  $\mu$ Sv/h v oktobru, na strehi skladišča. Ob tovornih vratih je bila povprečna hitrost doze v vseh



mesecev nižja (največ 0,124  $\mu\text{Sv/h}$  v novembru). Na ograji na referenčni lokaciji so bile hitrosti doze primerljive z meritvami na strehi skladišča (največ 0,136  $\mu\text{Sv/h}$  v oktobru). Povprečne hitrosti doze se v okviru merilnih negotovosti zelo malo razlikujejo.

Tudi pri ostalih meritvah ni bilo pomembnih odstopanj, razlike so bolj odvisne od sestave tal (betonske ali travne površine z različno naravno radioaktivnostjo in deležem vlage v zemlji), kot od sevanja iz samega objekta. Izmerjena letna doza 10 m od vrat je bila 0,78 mSv (0,73 mSv v letu 2020) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 1,0 mSv (0,95 mSv v letu 2020). Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja zanemarljiv.



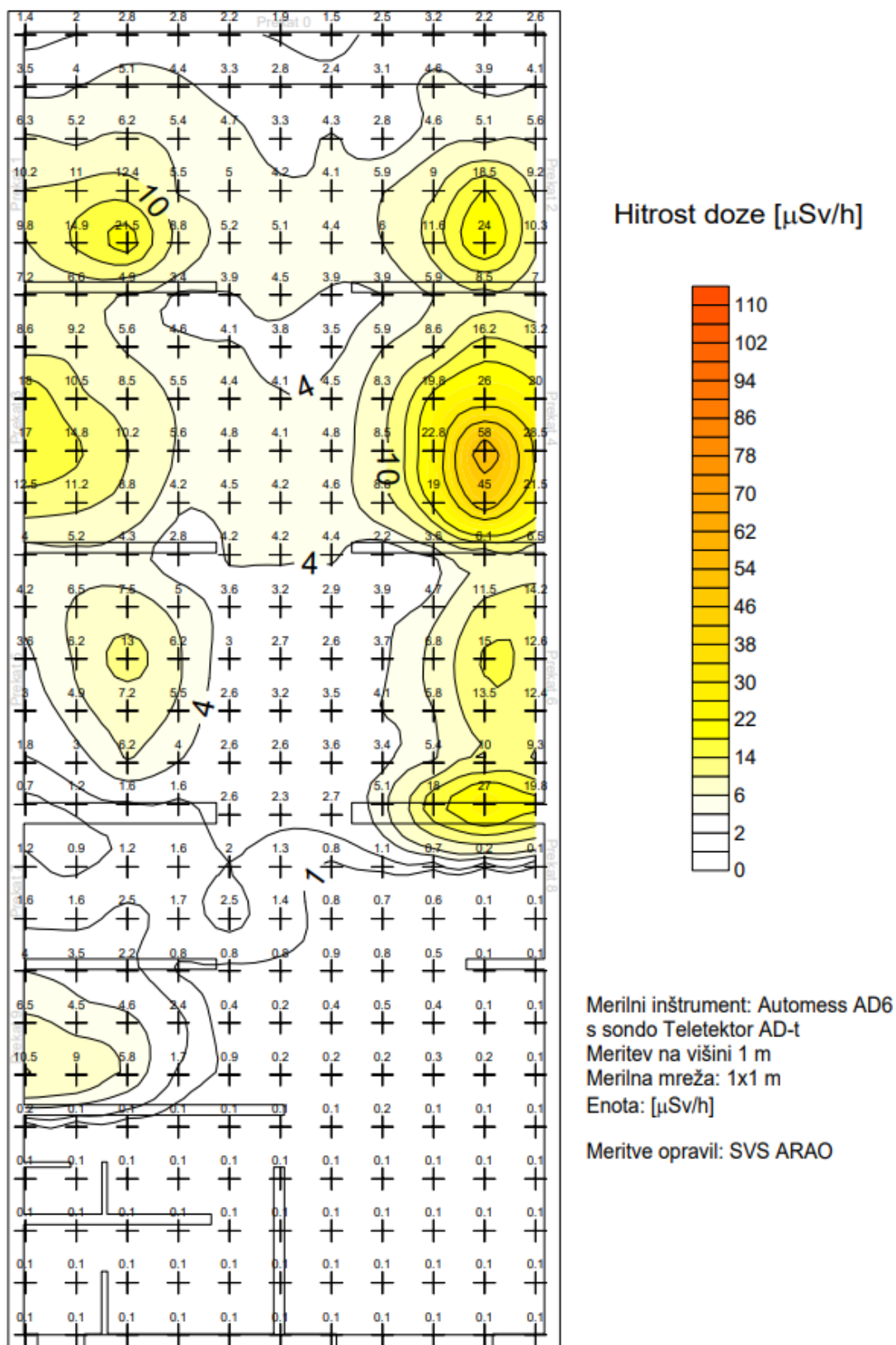
**Graf 3:** Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča

V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile do 0,064  $\mu\text{Sv/h}$  na asfaltni površini pred objektom CSRAO, pa do največ 0,124  $\mu\text{Sv/h}$  na strehi skladišča. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.

Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekati v skladiščnem prostoru so podobni kot v preteklem letu in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in optimalne razmestitve sodov. Sedaj se bolj aktivni sodi nahajajo globlje v prekatih. Izmerjene vrednosti hitrosti doze v skladišču so do okrog 60  $\mu\text{Sv/h}$ .



**Slika 2:** Rezultati meritev hitrosti doze  $H^*(10)$  [nSv/h] sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, predstavljeni s programsko opremo Route Monitoring (september 2021)



**Slika 3:** Izmerjene vrednosti hitrosti doze ( $\mu\text{Sv/h}$ ) dne 23. 4. 2021 s prenosnim merilnikom v CSRAO. Merske točke so bile oddaljene najmanj pol metra od sodov.



## 2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

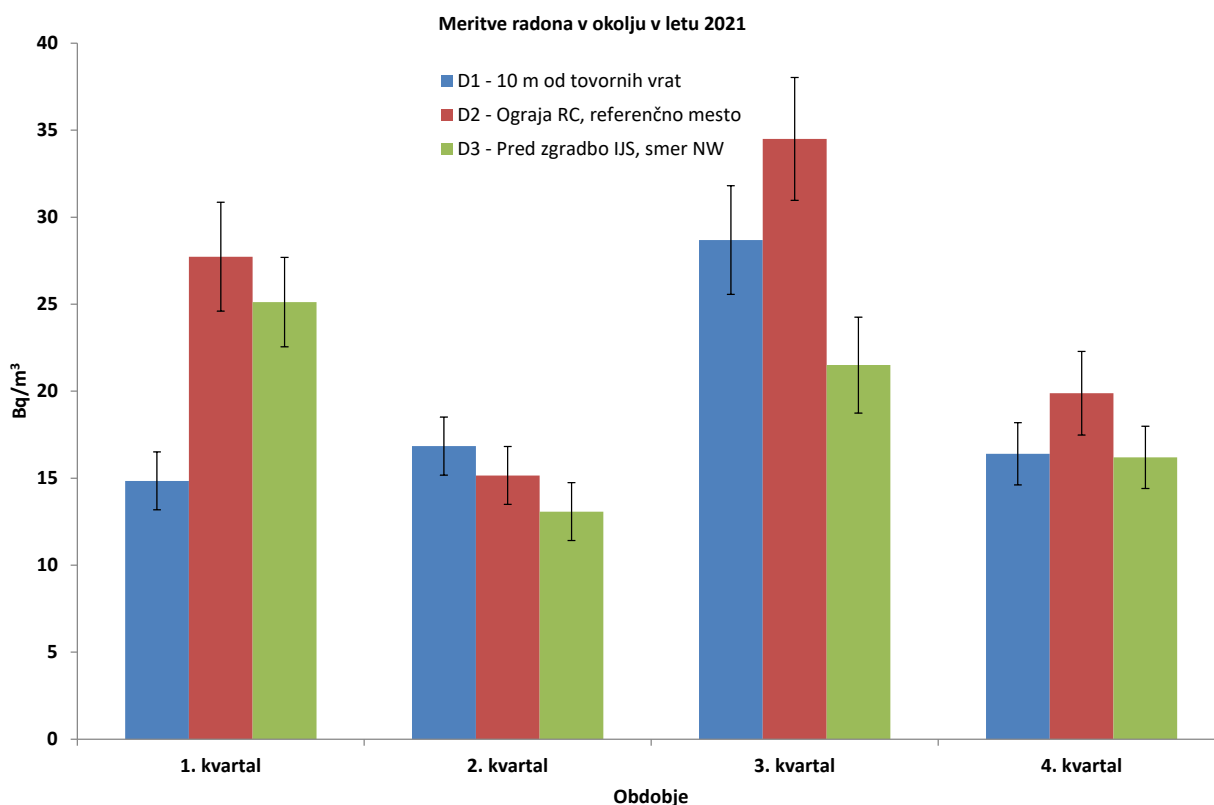
Meritve koncentracije radona v okolju se izvajajo z detektorji sledi (Rn etched-track detektorji), ki so integrirni merilniki. Detektorji sledi so bili nameščeni za obdobje treh mesecev (kvartalno). Meritve je izvajal ZVD na treh lokacijah (slika 1):

- ob pomožnem objektu, 10 m od tovornih vrat (lokacija - D1);
- na ograji RC IJS, referenčno mesto (lokacija – D2);
- pred zgradbo IJS, smer SZ (lokacija – D3).

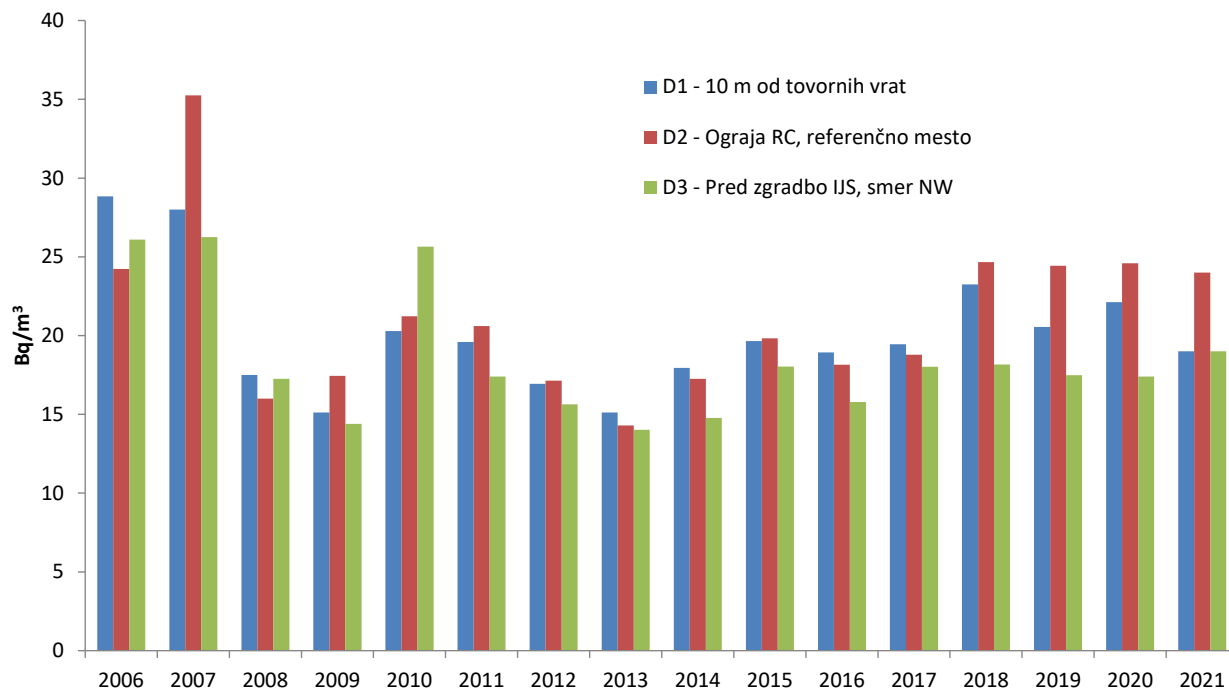
Na vsakem merilnem mestu sta bila istočasno izpostavljeni dva detektorja na višini 150 cm nad tlemi. Pri vrednotenju se upošteva povprečna vrednost obeh detektorjev. Rezultati meritev so podani na grafu 4 in v tabeli 6.

Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji 10 m od tovornih vrat (D1) je bila  $(19 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ . Na lokaciji pred zgradbo IJS (D3) je bila povprečna koncentracija  $(19 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$  in na referenčnem mestu (D2) je bila  $(24 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ . Že nekaj let zapored opažamo najvišje izmerjene koncentracije na referenčni lokaciji, kar je posledica naravne ekshalacije radona iz okoliške zemlje. Za razliko od preteklih let so bile najvišje izmerjene koncentracije aktivnosti v tretjem kvartalu. Pričakovali bi višje koncentracije v zimskih mesecih zaradi inverznih vremenskih pogojev. Na povprečne koncentracije vpliva tudi obseg padavin v posameznem kvartalu.

Vse povprečne vrednosti so primerljive z rezultati meritev iz preteklih let (graf 5,  $15 \text{ Bq/m}^3$  –  $35 \text{ Bq/m}^3$ ).



**Graf 4:** Povprečna koncentracija radona v okolici objekta CSRAO (po kvartalnih)



**Graf 5:** Povprečne letne koncentracija radona v okolici objekta CSRAO

Na splošno so koncentracije radona v neposredni okolici objekta CSRAO takšne, kot jih običajno izmerimo drugod v Sloveniji – okrog  $20 \text{ Bq/m}^3$  (referenca: Letno poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v RS). Ob tem je treba poudariti, da ventilacija v skladiščnem prostoru obratuje nekaj ur na teden in so izpusti radona povišani le prvo uro po vklopu prezračevanja, medtem ko detektorji sledi merijo trimesečno povprečje. Iz primerjave meritev na različnih lokacijah v okolju ni mogoče ovrednotiti vpliva CSRAO zaradi izpustov radona, saj so izpusti tako majhni, da jih ni mogoče zaznati s tovrstno mersko metodo.

### 2.4.3 VODA (podtalnica)

Vzorci vode podtalnice so bili vzeti na južni vrtini BSP2 (slika 1, oznaka P2) in severni vrtini BSP1 (oznaka P1). Obe lokaciji sta približno 30 m od CSRAO. Podtalnica se giblje od severa proti jugu, tako da je severna vrtina (P1) referenčna, medtem ko se na južni vrtini (P2) meri morebitni vpliv objekta CSRAO. Rezultati meritev so podani v tabeli 7. V vzorcu podtalnice iz obeh vrtin so bili prisotni samo naravni radionuklidi. Izmerjene koncentracije naravnih radionuklidov so na obeh lokacijah podobne in so običajne za naravno okolje. Prisotnost cezija, ki je posledica globalne kontaminacije, ni bila zaznana.





## 2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

### 2.5.1 MERITVE KONTAMINACIJE TAL

Namen meritev kontaminacije tal je preverjanje usposobljenosti ekipe in merilne opreme, da se lahko v primeru izrednega dogodka v okolju naredi hitro oceno stopnje kontaminacije. Meritve s spektrometrijo gama in-situ je ARAO opravil na dveh lokacijah jugovzhodno od pomožnega objekta. V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile opravljene tudi primerjalne meritve in-situ med ARAO in IJS (ELME) na lokaciji jugovzhodno od pomožnega objekta CSRAO.

Rezultati meritev so podani v tabeli 8. Upoštevana je enakomerna porazdelitev naravnih radionuklidov v zemlji in predpostavka, da so naravni radionuklidi torijevega (Th-232, Ra-228, Th-228) in uranovega (U-238, Ra-226) razpadnega niza v ravnovesju. Rezultati za Cs-137 so podani tako za enakomerno porazdelitev, ki bolj ustreza trenutni globalni kontaminaciji (zelo star depozit, kjer je cezij precej enakomerno porazdeljen v zgornji plasti zemlje) in ločeno s predpostavko površinske kontaminiranosti (primer izrednega dogodka). Primerjava rezultatov meritev kaže dobro ujemanje med meritvami IJS in ARAO. Izmerjene vsebnosti naravnih radionuklidov in Cs-137 so običajne za naravno okolje.

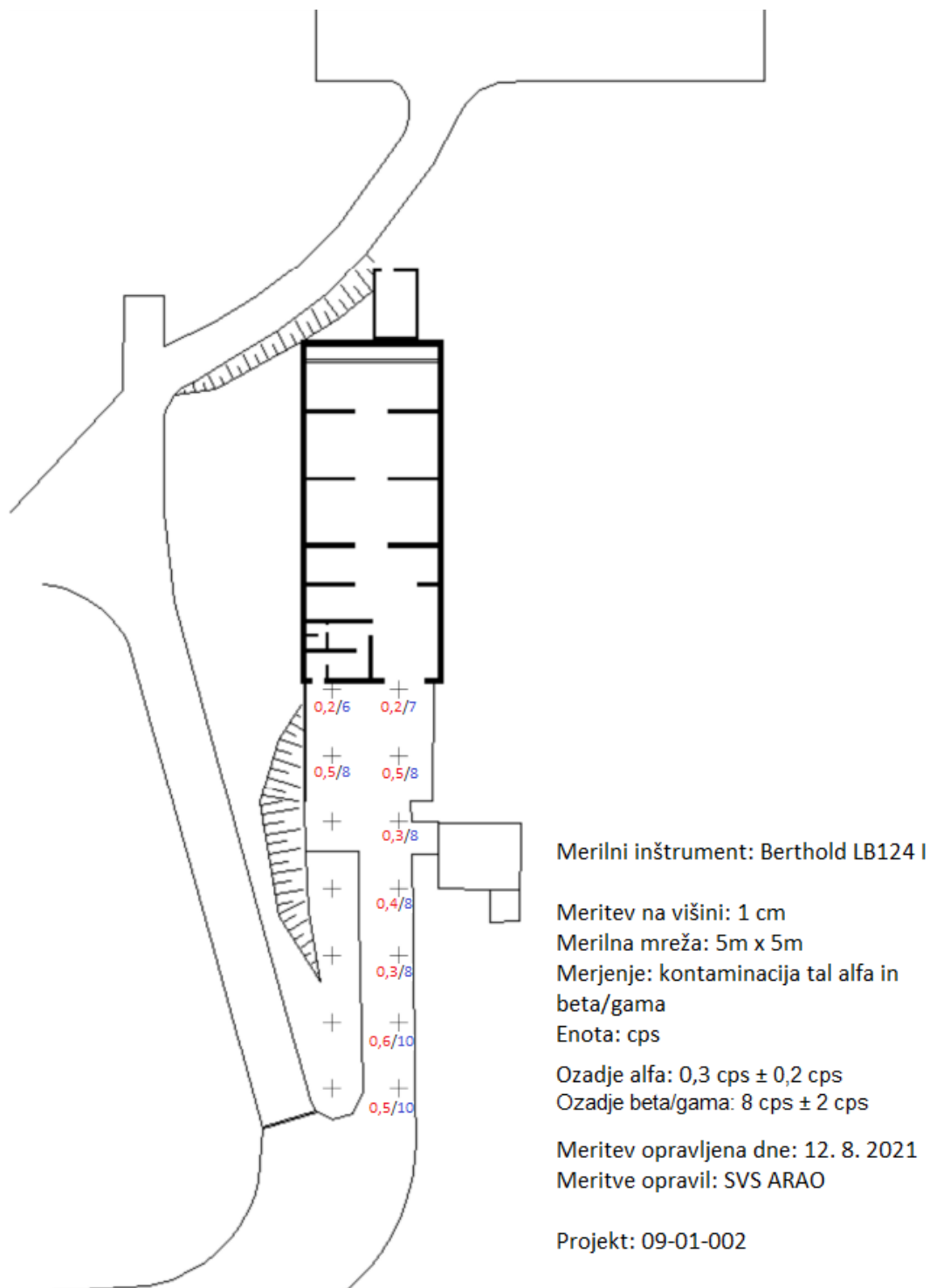
ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži (slika 5). Rezultati meritev kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2021, 09-01-002/MS/22-SVS-2). Na asfaltnih površinah je bilo zaznano le običajno naravno ozadje ( $6\text{--}10\text{ s}^{-1}$  beta/gama).

### 2.5.2 TALNI USED

V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji Ograja, ki je referenčno mesto, kjer se meri celoletni suhi used, nabran preko celega leta. Namen meritev useda na vazelinski plošči je ocena depozita radioaktivnosti v primeru izrednega dogodka.

Na vazelinski plošči (tabela 9) so bili izmerjeni naravni radionuklidi in Cs-137, ki je del globalne kontaminacije še iz obdobja černobilske nesreče. Rezultati so v okviru merske negotovosti primerljivi z meritvami iz predhodnih let. Aktivnost kozmogenega radionuklida Be-7 je bila višja kot običajno  $1000\text{ Bq/m}^2$ . Običajne izmerjene aktivnosti se gibljejo okoli  $700\text{ Bq/m}^2$ . Aktivnost berilija je predvsem odvisna od kozmičnega sevanja, mešanja zračnih mas in izpiranja atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin. V tem letu je bilo galaktično kozmično sevanje najintenzivnejše (11-letni cikel, ki ga moderira aktivnost sonca).

Na vazelinski plošči nismo zaznali vpliva obratovanja jedrskih objektov na Rektorskem centru.



**Slika 5:** Izmerjene vrednosti kontaminacije površin s sevalci alfa (rdeče oznake) in beta/gama (modre oznake) v  $s^{-1}$  (cps), izmerjena kontaktno s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO na Brinju.



### 3 OCENA VPLIVA NA OKOLJE

#### 3.1 ATMOSFERSKI IZPUSTI

Atmosferski izpusti iz objekta CSRAO so posledica povečane koncentracije radona v skladiščnem prostoru. Radon nastaja v radioaktivnih odpadkih, ki vsebujejo radij. Nastaja tudi v naravnem okolju.

Izpusti zaradi izhajanja radona iz objekta CSRAO so ocenjeni z modelom, ki je natančneje opisan v poročilu ARAO-T1511-3/2 "*Emisije radona iz skladišča radioaktivnih odpadkov in vpliv na okolje*". V modelu predpostavimo, da radon stalno uhaja iz objekta CSRAO, tudi kadar ne prezračujemo skladiščnega prostora. Občasno se vklaplja tudi prezračevanje objekta CSRAO. Izpusti se ovrednotijo na podlagi kontinuirnih meritev radona v skladiščnem prostoru in prilagajanja modelskih parametrov na realne meritve (glej graf 1).

Ocenjujemo, da je po modelu povprečna hitrost izpuščanja radona iz objekta  $13 \text{ Bq/s} \pm 30 \%$  in je višja kot v preteklih letih. Enako kot v preteklih letih smo pri tem predpostavili, da je prezračevanje skladiščnega prostora delovalo polovico leta. Izpusti vključujejo tudi prispevek radona zaradi naravnega okolja (radonski tok skozi stene in talno ploščo objekta CSRAO).

V tabeli 1 je primerjava med ocenami izpustov v preteklih letih. Vse ocene so bile narejene po isti metodologiji. Znižanje izpustov radona je posledica rekonstrukcije CSRAO in v kasnejšem obdobju premeščanja in prepakiranja RAO (projekti kondicioniranja RAO v letu 2005 in 2008).

Neodvisno smo grobo ovrednotili tudi skupni radonski tok  $F$  [Bq/s] v skladišče ob izklopljeni ventilaciji. Izračunali smo ga iz prvih 30 ur meritev koncentracije radona po izklopu ventilacije, ko lahko predpostavimo linearno naraščanje koncentracije. Radonski tok se grobo oceni iz sledečega izraza:

$$F = \frac{k \cdot V}{3600}$$

- $k$  Začetna strmina krivulje naraščanja koncentracije v odvisnosti od časa [Bq/m<sup>3</sup>/h],  
 $V$  ocenjena prostornina skladišča 750 m<sup>3</sup>.

Pri tem izračunu sicer zanemarimo vpliv puščanje skladišča in radioaktivni razpad radona, zato je sam izračun lahko poenostavljen. Ocenjen radonski tok v skladišče je empirično v povprečju za okrog 40 % višji od ocenjenih izpustov, saj model predpostavlja, da del radona v skladišču razpade, preden pride v okolje in da sam skladiščni prostor ni hermetično zaprt. Obstajajo precejšnje negotovosti pri vrednotenju izpustov in radonskega toka v skladišče, ker na meritve izrazito vplivajo zunanji vremenski pogoji (tlak, temperatura) in letni časi.



**Tabela 1:** Modelska ocena povprečnih izpustov radona iz skladišča v preteklih letih in ocena radonskega toka v skladišče. Negotovost ocene izpustov in radonskega toka je  $\pm 30\%$ .

Obdobje	Ocenjeni Izpusti iz skladišča [Bq/s]	Ocena radonskega toka v skladišče (povprečje letne in zimske meritve) [Bq/s]
Po rekonstrukciji skladišča in pred prepakiranjem RAO leta 2007	33	44
Po prepakiranju RAO leta 2008	10	9
V letu 2015	6	9
V letu 2016	7	9
V letu 2017	8	11
V letu 2018	9	12
V letu 2019	11	16
V letu 2020	10	12
V letu 2021	13	17

Ugotavljali smo že, da je višji radonski tok v skladišče (in s tem povezani izpusti) najverjetneje posledica novih radioaktivnih odpadov ali pa tudi posledica degradacije stare embalaže, ki vsebuje Ra-226.

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2021 ocenjujemo na približno **0,42 GBq/leto**, kar je okrog 30 % več kot v predhodnem letu (0,31 GB/leto) vendar precej nižje od obratovalnega dovoljenja 6,3 GBq/leto. Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 650 m<sup>2</sup> (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m<sup>2</sup>s).

Prispevek k povišanju koncentracije radona v okolici CSRAO zaradi izpustov smo ocenili z Gaussovimi modelom. Ob tem smo upoštevali naslednje predpostavke:

- privzeli smo Gaussov model za talni izpust ( $h = 0$  m);
- normaliziran disperzijski faktor  $v \cdot \chi/Q$  je vzet iz referenc – stabilnost ozračja D in E;
- povprečna hitrost vetra  $v$  je 1 m/s.

Iz tabele 2 je razvidno, da je po Gaussovem modelu povprečna koncentracija radona na razdalji 50 m od vira (razdalja do ograje reaktorskega centra) okoli 0,7 Bq/m<sup>3</sup> nad ozadjem (običajno ozadje je okoli 20 Bq/m<sup>3</sup>).

**Tabela 2:** Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 13,3 Bq/s.

Oddaljenost od vira (m):	10	30	50	100
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred D:	0,8	0,1	0,04	1,00E-02
$\chi$ – Koncentracija Radona (Bq/m <sup>3</sup> )	<b>10,6</b>	<b>1,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
$\chi$ – Koncentracija Radona (Bq/m <sup>3</sup> )	<b>23,9</b>	<b>2,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>



### 3.2 TEKOČINSKI IZPUSTI

Rezultati vzorčenja vode iz podzemnega zbiralnika skladišča (odpadne vode iz skladišča) kažejo, da je v vodi od umetnih radionuklidov prisoten v sledovih le Cs-137, ki je posledica globalne kontaminacije. Izmerjena koncentracija je daleč pod mejo za opustitev nadzora (Uredba o sevalni dejavnosti UV1, Ur. l. RS št. 19/18, tabela 1) in tudi daleč pod omejitvijo za pitno vodo (Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi SV11, Ur. l. RS št. 74/15 in 76/17). Vpliv CSRAO preko te prenosne poti je bil nemerljiv.

### 3.3 OCENA PREJETE DOZE

Ocena izpostavitve je narejena na podlagi 24. člena Pravilnika o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (SV5, Uradni list RS št. 47/18). Pri tem smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje iz starega Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (SV5, 22. člen). Dozni faktorji so skladni z ICRP 65 in zaenkrat še ne upoštevajo sprememb iz Uredbe o nacionalnem radonskem programu (UV4, Uradni list RS št. 18/18).

Pri oceni prejete efektivne doze smo upoštevali dve prenosni poti:

- vpliv zunanjega sevanja gama;
- inhalacijo radonovih potomcev.

Vpliv zunanjega sevanja smo ovrednotili na podlagi rezultatov meritev TLD.

Vpliv radona in potomcev smo ocenili na podlagi ocenjenega povprečnega izpusta 13,3 Bq/s. Oceno prejete doze smo naredili za tri odrasle predstavnike referenčne skupine:

- za varnostnika - receptorja, ki se pogosteje zadržuje okoli CSRAO;
- za zaposlenega IJS v stavbi v neposredni bližini CSRAO in
- za okoliškega kmeta, ki se zadržuje ob ograji Reaktorskega centra (odrasla oseba).

Slednji predstavlja referenčno skupino iz prebivalstva. Po naših ocenah se druge starostne skupine prebivalstva časovno zelo omejeno zadržujejo v neposredni okolici Reaktorskega Centra in jih zato nismo upoštevali.

Pri izračunu doze smo upoštevali naslednje predpostavke:

1. Ocenimo, da je skupen čas zadrževanja na tej lokaciji 65 ur/leto za varnostnika in za okoliškega kmeta. Zaposleni na IJS se zadržuje v svoji pisarni v neposredni bližini 1700 ur/leto.
2. Predpostavimo, da se varnostnik-receptor ob rutinskem ogledu okolice skladišča zadržuje v povprečju 10 m od skladišča in da se okoliški kmet zadržuje na razdalji 50 m od skladišča. Za zaposlenega na IJS smo upoštevali oddaljenost 30 m od skladišča.
3. Predpostavimo Gaussov model redčenja ob konstantni smeri vetra (zelo konservativna predpostavka, glej poglavje *Atmosferski izpusti*). Upoštevamo, da so polovico časa razmere razreda D in polovico časa razmere razreda E. Pri varnostniku in okoliškem kmetu predpostavimo, da veter stalno piha v njuno smer s hitrostjo 1 m/s. V resnici je povprečna



hitrost vetra višja. Pri zaposlenem na IJS predpostavimo, da veter piha le 30 % časa v smeri prostorov IJS.

4. Konservativno predpostavimo, da radonovi potomci iz skladišča deloma uhajajo v okolje. Tako smo uporabili ravnovesni faktor  $f = 0,1$  med radonom in potomci. Za zaposlenega na IJS upoštevamo ravnovesni faktor  $f = 0,3$  v zaprtem prostoru (pisarni).
5. Upoštevamo dozni pretvorbeni faktor  $DF$  iz koncentracije radonovih potomcev (EEC) v dozo za okoliškega kmeta in varnostnika IJS -  $7,87 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq}\cdot\text{ura})/\text{m}^3$ .  
 Faktor je dobljen iz produkta doznega pretvorbenega faktorja  $1,4 \text{ Sv}/(\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})$  za delovno okolje in pretvorbenega faktorja iz  $\text{Bq}/\text{m}^3$  EEC v  $\text{J}/\text{m}^3$  PAEC, ki je  $20,8 \mu\text{J}/3700 \text{ Bq}$ .  
 Podobno dobimo dozni faktor radonovih potomcev za pisarniškega delavca na IJS –  $6,1 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq}\cdot\text{ura})/\text{m}^3$ , kjer upoštevamo zaradi manjše hitrosti dihanja dozni pretvorbeni faktor  $1,1 \text{ Sv}/(\text{J}\cdot\text{h}/\text{m}^3)$ .  
 Upoštevamo, da je doza zaradi radona zanemarljiva, saj je ta delež približno 1 % doze radonovih potomcev.
6. Ocenjujemo, da je prispevek hitrosti doze zaradi zunanega sevanja iz skladišča na razdalji 10 m od CSRAO nemerljiv. Na referenčni lokaciji je namreč letna doza zaradi zunanega sevanja višja kot na razdalji 10 m od skladišča (glej rezultate meritev TLD).

V tabeli 3 so prikazane izračunane letne efektivne doze za omenjene primere. **Na podlagi zgornjih predpostavk ocenjujemo, da so letne efektivne doze za zaposlene na IJS in za okoliško prebivalstvo zanemarljive.**

**Tabela 3:** Ocenjena letna efektivna doza za referenčno skupino

	Varnostnik - receptor	Okoliški kmet	Delavec IJS
Oddaljenost (m):	10	50	30
Radonovi potomci ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	0,88	0,04	1,9
Zunanje sevanje ( $\mu\text{Sv}$ )	0	0	0
<b>Skupna efektivna doza (<math>\mu\text{Sv}/\text{leto}</math>)</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>&lt; 2</b>



## 4 MERSKI REZULTATI

### 4.1 PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program nadzora okolja skladišča, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, rev. 2, ARAO-04-01-026-001, april 2018.

#### (A) - Meritve emisij (meritve izpustov)

##### VODA (podzemni zbiralnik)

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Izotopska analiza, VL spektrometrija gama	Jašek večjega prekata podzemnega zbiralnika	Voda (enkratni trenutni vzorec)	Pred praznjenjem, najkasneje pri zapolnitvi 75 % volumna podzemnega zbiralnika	Pred praznjenjem, najkasneje pri zapolnitvi 75 % volumna podzemnega zbiralnika	2 x

##### ZUNANJE SEVANJE

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Zunanje sevanje, TL dozimeter	t1 – tovarna vrata CSRAO t2 – vrata strojnice t3 – streha CSRAO t4 – 10 m od tovornih vrat CSRAO t5 – 30 m od tovornih vrat CSRAO	Doza zunanjega sevanja	Kontinuirano, 1 mesec	1-krat mesečno	12 x 5 TLD

##### ZRAK

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Kontinuirane meritve koncentracije radona	Skladiščni prostor, prekat 3	Zrak	-	Najmanj 2-krat letno, zimski in poletni čas	2 x 1 meritev, čas trajanja meritve 10 ali več dni





## (B) - Meritve imisij (meritve v okolju)

### ZUNANJE SEVANJE

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Zunanje sevanje, TL dozimeter	t6 – na ograji RC IJS	Doza zunanjega sevanja	Kontinuirano, 1 mesec	1-krat mesečno	12 × 1 TLD

### ZRAK

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Kontinuirne meritve koncentracije radona, detektor sledi	d1 – ob pomožnem objektu d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto) d3 – SZ rob CSRAO ob stavbi IJS	Zrak	Kvartalno	Kvartalno	4 × 3 × 2 (2 detektorja na eno vzorčevalno mesto)

### VODA (podtalnica)

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Izotopska analiza, VL spektrometrija gama	P-1 piezometer zgornji – BSP 1 (severno od CSRAO) P-2 piezometer spodnji –BSP 2, (južno od CSRAO)	Voda	Letno	Letno	1 x 2 vzorca



## (C) – Vzdrževanje pripravljenosti

### MERITVE KONTAMINACIJE TAL

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Spektrometrija gama In-situ	Na ožjem območju zunaj skladišča CSRAO	Travnata tla	Neposredna meritev	2-krat letno	2-krat letno
Sevanje alfa	Asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Delovne in pohodne površine	Neposredna meritev	Kontrolno 1-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	1-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi
Sevanje beta	Asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Delovne in pohodne površine	Neposredna meritev	Kontrolno 1-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	1-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi
Gama sevanje	Asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Delovne in pohodne površine	Neposredna meritev	Kontrolno 1-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	1-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi

### TALNI USED

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Vazelinska plošča, izotopska analiza z VL spektrometrijo gama	Na ograji RC IJS (50 m od CSRAO), znotraj zunanje ograje območja	Trdni zračni delci	Kontinuirno, letni kompozitum kvartalnih vzorčenj ali zbirni celoletni vzorec	1-krat letno	1-krat letno



## 4.2 TABELE MERITEV PROGRAMA A, B IN C

### 4.2.1 Voda (podzemni zbiralnik)

**Tabela 4:** *Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih vode iz podzemnega zbiralnika. Meritve je opravil IJS.*

Oznaka vzorca	RA21-VN1-71 2. 7. 2021
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
K-40	4,6E+02 ± 1,6E+01
Cs-137	4,1E-01 ± 1,5E-01
Pb-210	1,5E+01 ± 2,5E+00
Ra-226	2,1E+00 ± 4,5E-01
Ra-228	< 1,1E+00
Th-228	< 1,9E+00
U-238	3,1E+00 ± 2,2E+01

### 4.2.2 Zunanje sevanje

**Tabela 5:** *Doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2021. Meritve je izvedel IJS.*

Datum	Mesec	t1 – tovorna vrata CSRAO	t2 – vrata strojnice	t3 – streha CSRAO	t4 – 10 m od tovornih vrat CSRAO	t5 – 30 m od tovornih vrat CSRAO	t6 – na ograji RC IJS
5. 1.–5. 2. 2021	Januar	0,080	0,049	0,086	0,070	0,073	0,073
5.2.–12. 3. 2021	Februar	0,085	0,057	0,097	0,070	0,086	0,101
12. 3.–12. 4. 2021	Marec	0,076	0,050	0,078	0,063	0,083	0,086
12. 4.–11. 5. 2021	April	0,066	0,047	0,086	0,061	0,072	0,073
11. 5.–7. 6. 2021	Maj	0,067	0,048	0,073	0,057	0,063	0,072
7. 6.–5. 7. 2021	Junij	0,076	0,044	0,083	0,058	0,069	0,072
5. 7.–9. 8. 2021	Julij	0,099	0,053	0,104	0,075	0,097	0,099
9. 8.–8. 9. 2021	Avgust	0,074	0,052	0,079	0,062	0,074	0,083
8. 9.–7. 10. 2021	September	0,083	0,054	0,092	0,063	0,080	0,078
7. 10.5. 11. 2021	Oktober	0,071	0,050	0,103	0,064	0,085	0,095
5. 11.–6. 12. 2021	November	0,092	0,052	0,103	0,072	0,079	0,088
6. 12. 2021–6. 1. 2022	December	0,080	0,048	0,092	0,065	0,082	0,076
<b>Letna doza (mSv):</b>		<b>0,95</b>	<b>0,60</b>	<b>1,08</b>	<b>0,78</b>	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>



## 4.2.3 Zrak

**Tabela 6:** Rezultati meritev koncentracij radona z detektorji jedrskih sledi. Meritve je opravil Zavod za varstvo pri delu ZVD.

2021	Koncentracija (Bq/m <sup>3</sup> )							
	Lokacija	5.1.–30. 3. 2021	Uteženo povprečje	30. 3.–5. 7. 2021	Uteženo povprečje	5. 7.–1. 10. 2021	Uteženo povprečje	1. 10.–30. 12. 2021
d1 – ob pomožnem objektu	19 ± 3	15 ± 2	21 ± 3	17 ± 2	24 ± 4	29 ± 3	26 ± 4	16 ± 2
	13 ± 2		15 ± 2		36 ± 5		14 ± 2	
d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto)	32 ± 5	28 ± 3	13 ± 2	15 ± 2	34 ± 5	35 ± 4	17 ± 3	20 ± 2
	25 ± 4		20 ± 3		35 ± 5		25 ± 4	
d3 – SZ rob CSRAO ob stavbi IJS	31 ± 5	25 ± 3	<10	13 ± 2	46 ± 7	22 ± 3	25 ± 4	16 ± 2
	23 ± 3		20 ± 3		17 ± 3		14 ± 2	

## 4.2.4 Voda (podtalnica)

**Tabela 7:** Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih vode iz vrtin (BSP1 - severna vrtina in BSP2 - južna vrtina). Meritvi je opravil IJS.

Oznaka vzorca:	RA21-VRP1-81 P-1 piezometer zgornji BSP-1 (severno od CSRAO) 26. 8. 2021	RA21-VRP2-81 P-2 piezometer spodnji BSP-2 (južno od CSRAO) 26. 8. 2021
	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
IZOTOP		
Be-7	7,9E+00 ± 8,7E-01	-
K-40	3,5E+01 ± 3,3E+00	3,3E+01 ± 1,9E+00
Pb-210	< 8,7E+00	< 2,9E+00
Ra-226	8,5E-01 ± 3,9E-01	< 1,1E+00
Ra-228	9,7E-01 ± 5,3E-01	< 2,9E-01
Th-228	7,5E-01 ± 2,3E-01	4,2E-01 ± 1,8E-01
U-238	3,5E+00 ± 1,1E+00	6,0E+00 ± 1,4E+00



#### 4.2.5 Meritve kontaminacije tal

**Tabela 8:** Spektrometrija gama in-situ na travniku jugovzhodno od pomožnega objekta .  
Primerjalne meritve med IJS (ELME) in ARAO.

<b>Lokacija:</b>	25 m jugovzhodno od pomožnega objekta	
	<b>HPGe – IJS (ELME)</b>	<b>3×3" NaI(Tl) – ARAO</b>
<b>Datum meritev:</b>	20. 9. 2021	20. 9. 2021
<b>Predpostavljena enakomerna porazdelitev</b>	<b>(Bq/kg)</b>	
K-40	308 ± 63	317 ± 63
Cs-137	20 ± 4	19 ± 4
Ra-226 (Bi-214)	39 ± 8	37 ± 7
Ra-228	31 ± 6	–
Th-228	33 ± 7	28 ± 6
<b>Predpostavljena površinska porazdelitev</b>	<b>(Bq/m<sup>2</sup>)</b>	
Be-7	260 ± 100	–
Cs-137	680 ± 140	575 ± 115

#### 4.2.6 Talni used

**Tabela 9:** Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcu talnega useda. Meritev je opravil IJS.

<b>Oznaka vzorca:</b>	<b>RA21-PV1-M1 5. 1. 2021 – 6. 1. 2022</b>
<b>IZOTOP</b>	<b>Specifična aktivnost (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
Be-7	1,0E+03 ± 5,1E+01
K-40	2,7E+00 ± 9,3E–01
Cs-137	2,1E–01 ± 3,0E–02
Pb-210	8,8E+01 ± 4,4E+00
Ra-226	6,7E–01 ± 1,5E–01
Ra-228	2,5E–01 ± 1,2E–01
Th-228	2,3E–01 ± 5,2E–02
Th-230	< 4,1E+00
U-238	8,4E–01 ± 3,6E–01



### 4.3 ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

V tabelah uporabljamo enote in oznake, ki naj bi najbolj neposredno omogočale izračun obremenitve človeka in so v skladu z zakonodajnimi podatki.

#### VODA

- Aktivnost se navaja v enotah Bq/m<sup>3</sup>.

#### ZEMLJA

- Aktivnost vzorcev zemlje se podaja v Bq/kg "osušene zemlje" in v Bq/m<sup>2</sup>. Pri meritvah in-situ je aktivnost podana v Bq/kg mokre zemlje.

#### ZUNANJA DOZA

- Podajamo jo z okoljskim ekvivalentom doze H\*(10) izraženim z enoto Sv (Sievert). Okoljska doza za običajno naravno okolje je:  $H^*(10) = 1,2 \times K_a$ .  $K_a$  je absorbirana doza v zraku, izražena z enoto Gy (Gray).

#### ZRAK

- Aktivnost radona brez podatkov o potomcih se podaja v Bq/m<sup>3</sup>.
- Aktivnost radonovih potomcev se podaja s koncentracijo radona v ravnovesju s potomci kot EEC - ekvivalentna ravnovesna koncentracija radona (Equilibrium Equivalent radon Concentration).
- Ravnovesni faktor F je ravnovesje med radonom in radonovimi potomci in se izraža kot razmerje med koncentracijo EEC in dejansko koncentracijo radona v Bq/m<sup>3</sup>:  $F = EEC / \text{Konc.}_{Rn-222}$



#### 4.4 ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VL SPEKTROMETRIJO GAMA

V tabeli 10 so podane orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG, ki jih zagotavlja IJS (Odsek F2).

**Tabela 10:** Spodnje detekcijske meje VLG na IJS

medij	VODA
enota	Bq/m <sup>3</sup>
velikost vzorca	0,05 m <sup>3</sup>
Be-7	4,0
Cr-51	8,0
Mn-54	0,45
Co-57	0,27
Co-58	0,33
Fe-59	0,72
Co-60	0,16
Zn-65	0,6
Zr-95	0,4
Nb-95	0,54
Ru-103	0,57
Ru-106	3,0
Sb-124	0,27
Sb-125	0,7
I-131	5,7
Cs-134	0,17
Cs-136	0,9
Cs-137	0,33
Ba-140	1,2





#### 4.5 NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti so bile v letu 2021 izvedene primerjave meritev in-situ spektrometrije gama zemljišča v okolici skladišča med IJS - SVPIS, IJS - F2 in ARAO. Merilniki so bili postavljeni 25 m jugovzhodno od pomožnega objekta.

**Tabela 11:** Primerjalne meritve in-situ spektrometrije gama dne 20. 9. 2021. Merske negotovosti so poročane s faktorjem pokritja  $k=1$ .

	F2/SVPIS				ARAO/SVPIS			
	IJS SVPIS (referenčna meritev)	IJS F2	ARAO	$M_{F2}/M_{REF}$	u-test	$M_{ARAO}/M_{REF}$	u-test	
<b>Predpostavljena enakomerna porazdelitev</b>	(Bq/kg)							
K-40	287 ± 31	308 ± 63	317 ± 63	<b>1,07</b>	<b>0,30</b>	<b>1,10</b>	<b>0,43</b>	
Cs-137	18 ± 2	20 ± 4	19 ± 4	<b>1,11</b>	<b>0,45</b>	<b>1,06</b>	<b>0,22</b>	
Ra-226 (Bi-241)	36 ± 4	39 ± 8	37 ± 7	<b>1,08</b>	<b>0,34</b>	<b>1,03</b>	<b>0,12</b>	
Ra-228	30 ± 3	31 ± 6	±	<b>1,03</b>	<b>0,15</b>	-	-	
Th-228	30 ± 3	33 ± 7	28 ± 6	<b>1,10</b>	<b>0,39</b>	<b>0,93</b>	<b>0,30</b>	
<b>Predpostavljena površinska porazdelitev</b>	(Bq/m <sup>2</sup> )							
Be-7	515 ± 118	260 ± 100	±	<b>0,50</b>	<b>1,65</b>	-	-	
Cs-137	657 ± 79	680 ± 140	575 ± 115	<b>1,04</b>	<b>0,14</b>	<b>0,88</b>	<b>0,59</b>	

Rezultate meritev smo primerjali med seboj z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za  $u = \frac{|M_{F2} - M_{REF}|}{\sqrt{u_{REF}^2 + u_{F2}^2}}$  je  $u < 1,96$ , kjer sta  $u_{F2}$  in  $u_{REF}$  negotovosti meritev F2 in SVPIS. Ujemanje meritev je zelo dobro, saj je odstopanje znotraj 11 %. Nekoliko odstopa primerjava kozmogenega radionuklida Be-7, saj so bili rezultati meritev blizu meje detekcije in s precejšno merilno negotovostjo. ARAO radioaktivnega berilija ni zaznal.



## 4.6 REZULTATI MEDNARODNIH PRIMERJALNIH MERITEV

Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev potrjujejo usposobljenost laboratorijev za meritve izpustov (emisij) in meritve vzorcev v okolju (imisij).

### 4.6.1 International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo

#### IARMA ERAD-PT-2021 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Mushroom and Water

V letu 2021 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 3 vzorcih umetno kontaminirane vode in enem vzorcu suhih gob določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in suhih gob z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Obenem je IJS sodeloval tudi pri testu homogenosti in časovne stabilnosti teh vzorcev. Individualna poročila smo prejeli decembra 2021.

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 04 za Odsek F-2) in primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in v vzorcu suhih gob.

Vsi rezultati so sprejemljivi. Vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti, sistematskih odmikov v eno smer nismo zaznali. Pri vzorcu vode IARMA-120 smo pozabili poročati Cs-134. Izmerjena vrednost je bila ( $10,96 \pm 0,33$ ) Bq/kg, kar se zelo dobro ujema z referenčno vrednostjo ( $10,75 \pm 0,40$ ) Bq/kg. Relativni odmik je 1,9 %.

### REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2021					
Sample IARMA-118, Water Sample					
analize IJS opravljene <i>oktobra 2021</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	<1	<0,09	–	–	A
Co-60	$6,40 \pm 0,20$	$6,65 \pm 0,20$	3,9	0,4	A
Ba-133	$5,02 \pm 0,20$	$4,84 \pm 0,16$	–3,6	–0,4	A
Cs-134	$5,40 \pm 0,20$	$5,57 \pm 0,17$	3,1	0,3	A
Cs-137	$4,49 \pm 0,18$	$4,68 \pm 0,14$	4,2	0,4	A
Eu-152	$2,87 \pm 0,10$	$3,17 \pm 0,12$	10,5	1,0	A
Th-232	$4,80 \pm 0,20$	$4,98 \pm 0,11$	3,8	0,4	A
U-238	$7,20 \pm 0,36$	$7,45 \pm 0,99$	3,5	0,3	A
Am-241	$4,55 \pm 0,18$	$5,10 \pm 0,22$	12,1	1,2	A



IARMA ERAD-PT-2021 Sample IARMA-119, Water Sample analize IJS opravljene <i>oktobra 2021</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	<1	<0,14	–	–	A
Co-60	8,54 ± 0,34	8,90 ± 0,27	4,2	0,4	A
Ba-133	7,20 ± 0,26	7,07 ± 0,36	–1,8	–0,2	A
Cs-134	6,93 ± 0,33	7,90 ± 0,24	14,0	1,4	A
Cs-137	5,80 ± 0,20	5,77 ± 0,17	–0,5	–0,1	A
Eu-152	5,86 ± 0,23	6,54 ± 0,20	11,6	1,2	A
Th-232	11,39 ± 0,40	11,62 ± 0,25	2,0	0,2	A
U-238	10,11 ± 0,50	11,20 ± 1,27	10,8	1,1	A
Am-241	9,37 ± 0,40	9,82 ± 0,37	4,8	0,5	A

IARMA ERAD-PT-2021 Sample IARMA-120, Water Sample analize IJS opravljene <i>oktobra 2021</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	<1	<0,15	–	–	A
Co-60	12,89 ± 0,40	13,56 ± 0,41	5,2	0,5	A
Ba-133	14,27 ± 0,50	14,05 ± 0,51	–1,5	–0,2	A
Cs-134	10,75 ± 0,40	not reported	–	–	–
Cs-137	7,96 ± 0,32	8,22 ± 0,25	3,3	0,3	A
Eu-152	14,39 ± 0,50	15,44 ± 0,47	7,3	0,7	A
Th-232	14,23 ± 0,40	14,59 ± 0,31	2,5	0,3	A
U-238	16,40 ± 0,65	13,91 ± 1,22	–15,2	–1,5	A
Am-241	13,82 ± 0,40	14,00 ± 0,43	1,3	0,1	A



IARMA ERAD-PT-2021 Sample IARMA-117, Mushroom analize IJS opravljene <i>oktobra 2021</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
K-40	1526 ± 51	1444,0 ± 43,3	-5,4	-0,5	A
Co-57	<1	<0,4	-	-	A
Co-60	44,20 ± 2,00	42,99 ± 1,29	-2,7	-0,3	A
Ba-133	18,10 ± 0,72	18,57 ± 0,56	2,6	0,3	A
Cs-134	24,80 ± 1,00	23,43 ± 0,72	-5,5	-0,6	A
Cs-137	24,50 ± 0,90	24,35 ± 0,73	-0,6	-0,1	A
Eu-152	43,10 ± 1,80	42,18 ± 1,27	-2,1	-0,2	A
Am-241	21,20 ± 0,85	22,71 ± 0,68	7,1	0,7	A

#### 4.6.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

##### IAEA ALMERA proficiency test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, Japanese bamboo and smear samples, IAEA-TEL-2021-04

V juliju 2021 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 4 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec japonskega bambusa in 2 vzorca simuliranih brisov za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli novembra 2021 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 40 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2021-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, November 2021*].

V naslednjih 5 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 40 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 3 je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za ta vzorec. En vzorec brisa je bil nekontaminiran (referenčni), rezultate smo poročali le za vzorec številka 7 (kontaminiran bris).

IAEA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100 \%$$

Le-tega so primerjali z največjim dopustnim odstopanjem (*MARB*), ki je bil določen individualno za vsak posamezen radionuklid. Kadar je vrednost relativnega odstopanja manjša ali enaka *MARB*, je rezultat sprejemljiv glede na točnost (accuracy).



$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100 \%$$

$$|Bias| \leq k \cdot P, \quad k = 2,58$$

kjer je  $k$  je faktor pokritja in je 2,58 za interval zaupanja 99 %. Če je  $|Bias| \leq k \cdot P$  in  $P \leq MARB$ , je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (precision).

Dodaten kriterij, ki ga IAEA uporablja za primerjavo rezultatov, je Z-test:

$$Z = \left| \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{roboustSD} \right|$$

kjer je  $roboustSD$  standardna deviacija rezultatov interkomparacije brez outlierjev. Kriteriji za ovrednotenje so:

$z < 2$ : acceptable,  $2 \leq z \leq 3$ : warning,  $z > 3$ : not acceptable

Dodaten kriterij za ovrednotenje rezultatov interkomparacije je  $\zeta$ -test, ki je definiran kot:

$$\zeta\text{-test} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{u_{reported}^2 + u_{target}^2}}$$

Rezultati so sprejemljivi, če je  $\zeta$ -test  $< 2$ . Vrednosti  $\zeta$ -testov smo sami določili za vse vzorce.

Vsi rezultati so sprejemljivi. Vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti. Le pri vzorcu bambusa je nekoliko večji sistematski odmik, pri čemer je IJS poročal za 6-11 % nižje rezultate.

## REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TEL-2021-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>julija 2021</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2021</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 40	Rel. Bias %	$\zeta$ -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	60,9 ± 0,7	62,5 ± 1,9	2,63	0,79	0,08	A
Co-60	74,2 ± 3,3	74,4 ± 2,2	0,27	0,05	0,02	A
Cs-134	113,2 ± 5,1	109,2 ± 3,3	-3,53	-0,66	0,13	A
Cs-137	69,2 ± 3,1	67,0 ± 2,0	-3,18	-0,60	0,83	A



IAEA-TEL-2021-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>julija, septembra in oktobra 2021</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2021</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 40	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	108,3 ± 4,9	107,2 ± 3,3	-1,02	-0,19	0,08	A
Ba-133	147,3 ± 6,6	137,3 ± 4,1	-6,79	-1,29	0,83	A
Cs-137	147,4 ± 6,6	138,8 ± 4,2	-5,83	-1,10	1,08	A
Eu-152*	3,01 ± 0,37	3,0 ± 0,2	-0,33	-0,02	0,03	A

\* Radionuklid Eu-152 nima določene referenčne vrednosti IAEA. V tem primeru je primerjava narejena s povprečno vrednostjo sodelujočih laboratorijev in pripadajočo robustno standardno deviacijo. Le-ta je navedena v stolpcu IAEA.

IAEA-TEL-2021-04 Sample 04, Japanese Bamboo analize IJS opravljene <i>julija, septembra in oktobra 2021</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2021</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 40	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	86,6 ± 4	81,4 ± 2,5	-6,00	-1,10	0,03	A
Cs-137	2063 ± 93	1890 ± 60	-8,39	-1,56	0,27	A
K-40	97,9 ± 7,2	86,9 ± 2,9	-11,24	-1,42	0,38	A

IAEA-TEL-2021-04 Sample 05, Spiked Water analize IJS opravljene <i>julija in septembra 2021</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2021</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 40	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	19,05 ± 0,86	18,2 ± 0,6	-4,46	-0,81	0,23	A
Cs-137	26,02 ± 1,17	24,9 ± 0,8	-4,30	-0,79	0,91	A
Am-241*	4,85 ± 0,57	5,0 ± 0,2	3,09	0,25	0,26	A

\* Radionuklid Am-241 nima določene referenčne vrednosti IAEA. V tem primeru je primerjava narejena s povprečno vrednostjo sodelujočih laboratorijev in pripadajočo robustno standardno deviacijo. Le-ta je navedena v stolpcu IAEA.



<b>IAEA-TEL-2021-04</b> <b>Sample 07, "Smear filter"</b> analize IJS opravljene <i>julija in oktobra 2021</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2021</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 40	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Cs-137	11,2 ± 0,6	11,6 ± 0,4	3,57	0,55	0,34	A

#### 4.7 REFERENČNA DOKUMENTACIJA

- Mesečna poročila o rezultatih analiz v okviru programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju, IJS
- Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2021, ARAO 09-01-002/MS/22-SVS-02
- Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju (poročila iz preteklih let), IJS
- Emisije radona iz skladišča radioaktivnih odpadkov in vpliv na okolje, ARAO-T1511-3/2
- In-situ kalibracija NaI(Tl) spektrometra NANOSPEC, ARAO-T1511-3/6
- Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1) (Ur.l. RS št. 76/17)
- Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (SV5, Uradni list RS št. 47/18).
- Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (stari pravilnik SV5)
- Protection against Radon-222 at Home and at Work (ICRP Publication 65)

- **Seznam pomembnih dokumentov akreditiranega laboratorija LMR na IJS:**

##### Organizacijski postopki

*LMR-OP-04/07* Organizacija laboratorija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti

*LMR-OP-05/10* Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti

*LMR-OP-06/09* Izvedba programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju

##### Delovna navodila

*LMR-DN-05/06* Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod



<i>LMR-DN-06/11</i>	Priprava sušine vzorcev vode
<i>LMR-DN-08/08</i>	Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/09</i>	Označevanje vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-10/13</i>	Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju
<i>LMR-DN-11/10</i>	Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG
<i>LMR-DN-27/06</i>	Rokovanje z vzorci
<i>ELME-DN-14/11</i>	Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama in radiološka karakterizacija lokacije

#### **Kontrolni postopki**

<i>LMR-KP-06/03</i>	Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov
<i>LMR-KP-08/01</i>	Kriteriji sprejemljivosti delovanja spektrometrov gama
<i>LMR-KP-09/02</i>	Preverjanje kakovosti kontrolnih virov

#### **Računski postopki**

<i>LMR-RP-01/03</i>	Ocena sevalnih obremenitev
<i>LMR-RP-02/01</i>	Struktura direktorijev in kratek opis datotek na delovni postaji Alpha
<i>LMR-RP-03/01</i>	Program za analizo meritev na VLG na delovni postaji <i>Alpha</i>
<i>LMR-RP-04/02</i>	Seznam in kratek opis algoritmov za analizo spektrov na VLG
<i>LMR-RP-05/04</i>	Ocena merilne negotovosti

- **Seznam dokumentov akreditiranega laboratorija za TLD na IJS:**

#### **Organizacijski postopki**

<i>TLD-OP-01/04</i>	Opis del in nalog osebja v <i>Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo</i>
---------------------	--

#### **Delovna navodila**

<i>TLD-DN-01/10</i>	Priprava, izdaja in sprejem termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)
<i>TLD-DN-02/12</i>	Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)
<i>TLD-DN-03/10</i>	Izpisovanje, dokumentiranje in arhiviranje poročil o TL dozah

#### **Kontrolni postopki**

<i>TLD-KP-03/05</i>	Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov
---------------------	--

#### **Računski postopki**

<i>TLD-RP-01/04</i>	Kratek opis metode za čitanje doz s TL analizatorjem IJS MR 200 (C)
<i>TLD-RP-02/04</i>	Ocena merilne negotovosti pri čitanju doz s TL analizatorjem IJS MR 200 (C)