

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-14621  
Ljubljana, februar 2024

# Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2023



*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 2023

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

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

**Štev. del. poročila IJS:** IJS-DP-14621

**Štev. projekta ARAO:** 09-01-002  
**Štev. pogodbe ARAO:** ARAO P005/2023

**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<br>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-14621  
februar 2024

**NASLOV POROČILA:**

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –  
Poročilo za leto 2023

**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 2023 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na  $< 0,2 \mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

---

IJS-Report-14621  
February 2024

**REPORT TITLE:**

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –  
Report for the year 2023

**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 2023 the effective dose is conservatively estimated to  $< 0.2 \mu\text{Sv}$  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 Radio-Chemistry Laboratory, Avstrija          | 32        |
| 4.6.3    | NPL, Velika Britanija   | 35        |
| 4.7      | Referenčna dokumentacija  | 36        |



## 1 UVOD

V poročilu so podani in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju za leto 2023. Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program obratovalnega monitoringa radioaktivnosti, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, Poglavje 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*. Institut "Jožef Stefan", *Laboratorij za meritve radioaktivnosti* je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (*SIST EN ISO/IEC 17025:2017*). Meritve doze zunanjega sevanja TLD so opravili sodelavci *Laboratorija za dozimetrijo*, ki deluje v okviru *Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na IJS*. Z akreditacijsko listino št. LP-022 z dne 4. 7. 2005 je Slovenska akreditacija potrdila izpolnjevanje zahtev standarda *SIST EN ISO/IEC 17025:2017* pri tej metodi na *IJS v Laboratoriju za dozimetrijo*.

Meritve koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi so opravili sodelavci *Zavoda za varstvo pri delu (ZVD)*. *Zavod za varstvo pri delu (ZVD)* je akreditiranem pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-032 na področju preskušanja (*SIST EN ISO/IEC 17025:2017*).

V letu 2023 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 ogledе. Meseca junija je opravil izpraznitev prekata št. 6. Izvedel je pregled stanja vseh skladiščenih paketov v tem prekatu, pregled sten in tal, pripadajočih instalacij prekata ter očistil površine.

V avgustu in septembru je SVS ARAO opravil meritve na paketih, ki vsebujejo radij in določil tiste, ki vsebujejo znatnejše koncentracije radija oziroma se zanje lahko domneva, da so največji generatorji radona v skladišču. V zadnjih letih meritve kažejo, da koncentracija radona v skladišču narašča. Namen je bil najti vzrok, ki k temu prispeva in morebiti najti enostaven ukrep, ki bi to izhajanje radona nekoliko omilil. Meritve so izvedli pri vhodu ob transportnih vratih. Postopek je bil radiološko zahteven zaradi povišanih nivojev sevanja v okolici paketov. Potencialno problematične sode so dodatno zatesnili. Kasnejše meritve niso pokazale bistvenega izboljšanja glede na pretekla leta. ARAO ugotavlja, da bodo potrebne dodatne meritve pri različnih pogojih, da bi se lahko uvedli ustrezni ukrepi za zmanjšanje koncentracije radona v skladiščnem prostoru CSRAO.



## 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 natančno ovrednotiti.

Na podlagi opravljenih meritev smo ocenili, da je bila povprečna letna hitrost izpuščanja radona iz skladišča okoli 18 Bq/s. V zadnjih letih opazimo 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 2023 ocenjujemo na okoli 0,56 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 tem letu smo v podzemnem rezervoarju, kjer se zbirajo odpadne vode iz umivalnice in kondenzat sušilne naprave, zaznali Am-241, vendar daleč pod dopustno mejo. Od ostalih umetnih radionuklidov je redno zaznan 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 radonovih potomcev, ki jo je po tem modelu prejel okoliški kmet, je  $< 0,2 \mu\text{Sv}$ . Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Reaktorskem centru, je  $< 7 \mu\text{Sv}$ . 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 2023.



**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 dvakrat v letu 2023. Tekočinski vzorci (~50 L) so bili analizirani 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 nižja od  $0,3 \text{ Bq/m}^3$ . 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 nekaj let ni bil zaznan. V tem letu smo Am-241 ponovno izmerili v junijskem vzorcu vode. Izmerjena aktivnost  $0,3 \text{ Bq/m}^3$  je na meji detekcije. V zbiralniku nismo zaznali prisotnosti Co-60, ki se je pred leti občasno pojavljal v tovrstnih 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 najvišja izmerjena aktivnost v letu 2023 je bila  $350 \text{ Bq/m}^3$ .

Nekoliko višja aktivnost K-40 in v sledovih prisotna aktivnost Am-241 sta verjetno povezani s 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. V preteklih letih so se meritve izvedle enkrat v poletnem in enkrat v zimskem obdobju. Skladno z novo odločbo URSJV se izvajajo sedaj enkrat letno. Na ta način se nadzira stanje embalaže, v kateri je Ra-226. Meritve običajno trajajo dva do 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 zimskem obdobju od 19. 12. 2023 do 4. 1. 2024. Merilnika sta bil nameščena med prekatoma 3 in 4. V zimskem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli  $8\,500 \text{ Bq/m}^3$  z največjo izmerjeno vrednostjo  $8\,844 \text{ Bq/m}^3$  (graf 1). Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanega tlaka in vremenske motnje. Nihanja koncentracije kažejo, da so bili vremenski pogoji zelo nestabilni. Predlagamo, da se v bodoče poskuša meritve izvesti v stabilnih vremenskih pogojih (bolj konstanten in visok tlak v okolju). Izkušnje tudi kažejo, da je ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih običajno višja za okrog 20 %. Pojav je podoben 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  $20\,000 \text{ Bq/m}^3$ . Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij in boljše tesnosti objekta

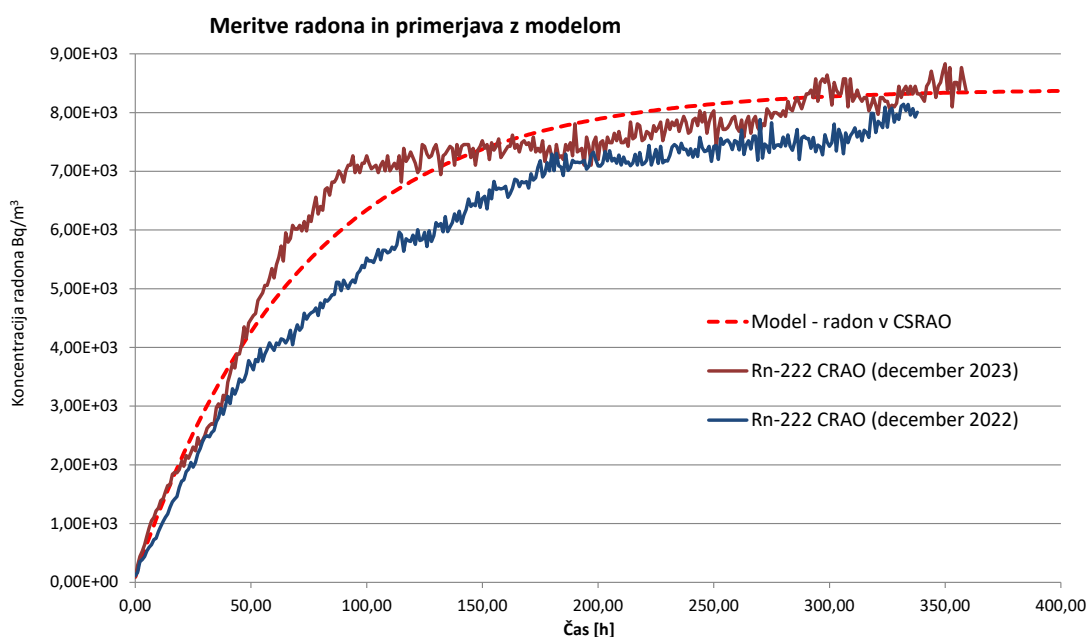




CSRAO. Leta 2008 je potekal projekt prepakiranja RAO ("Izboljšanje ravnanja z institucionalnimi RAO v Sloveniji"). V okviru projekta so bili prepakirani tudi radijevi odpadki. Radij, ki je bil vzrok za visoke koncentracije radona, je bil hermetično zavarjen v novo embalažo. Najpomembnejše je bilo prepakiranje soda, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračnem skladiščnem prostoru po tem letu padla pod  $6\,000\text{ Bq/m}^3$ . Sedaj opažamo postopen trend naraščanja koncentracije v skladišču, ki je trenutno že dosegla koncentracije okrog  $10\,000\text{ Bq/m}^3$  v poletnih mesecih.

Kot smo že omenili, 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. Delež prispevka radonskega toka iz naravnega okolja (skozi stene in talno ploščo) smo poskušali ovrednotiti z dodatnimi meritvami koncentracije radona z detektorji sledi v jašku znotraj skladiščnega prostora (med prekatoma št. 5 in 6). Maksimalna izmerjena povprečna koncentracija (obdobje treh mesecev) v notranjem jašku je bila okrog  $7\,200\text{ Bq/m}^3$ , kar je primerljivo z običajno koncentracijo radona v skladišču, kadar je skladišče več dni neprezračeno. V primeru, da bi bil izrazit vir radona jašek (razpoke v talni plošči), bi bile koncentracije v jašku za red velikosti višje kot v prostoru. Omenjena dodatna meritev še vedno potrjujejo našo domnevo, da so povišane koncentracije povezane s povečanim virom radona iz radioaktivnih odpadkov (novih radioaktivni odpadki ali postopna degradacije stare embalaže).

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



**Graf 1:** Rezultati meritev spreminjanja koncentracije radona v CSRAO po ustavitvi prezračevanja, izmerjene v zimskem obdobju v letih 2022 in 2023. Na grafu je tudi krivulja, ki jo dobimo s prileganjem modelskih parametrov na realne meritve.



## 2.4 MERITVE V OKOLJU

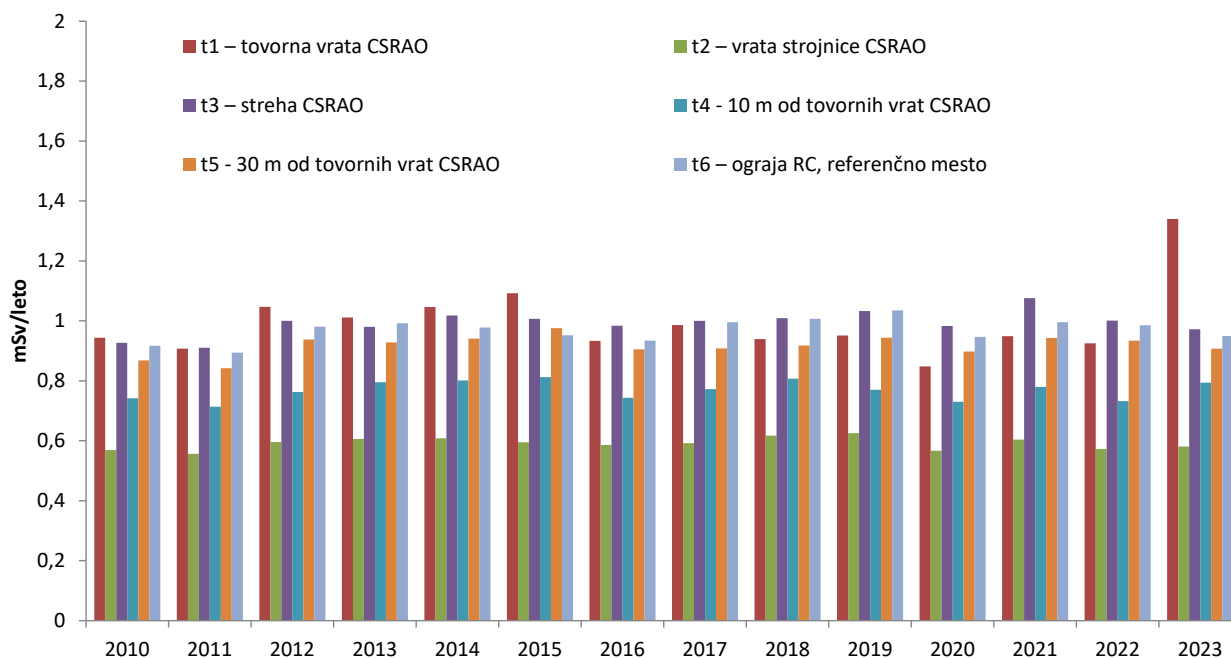
### 2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

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 dozimetrijo.

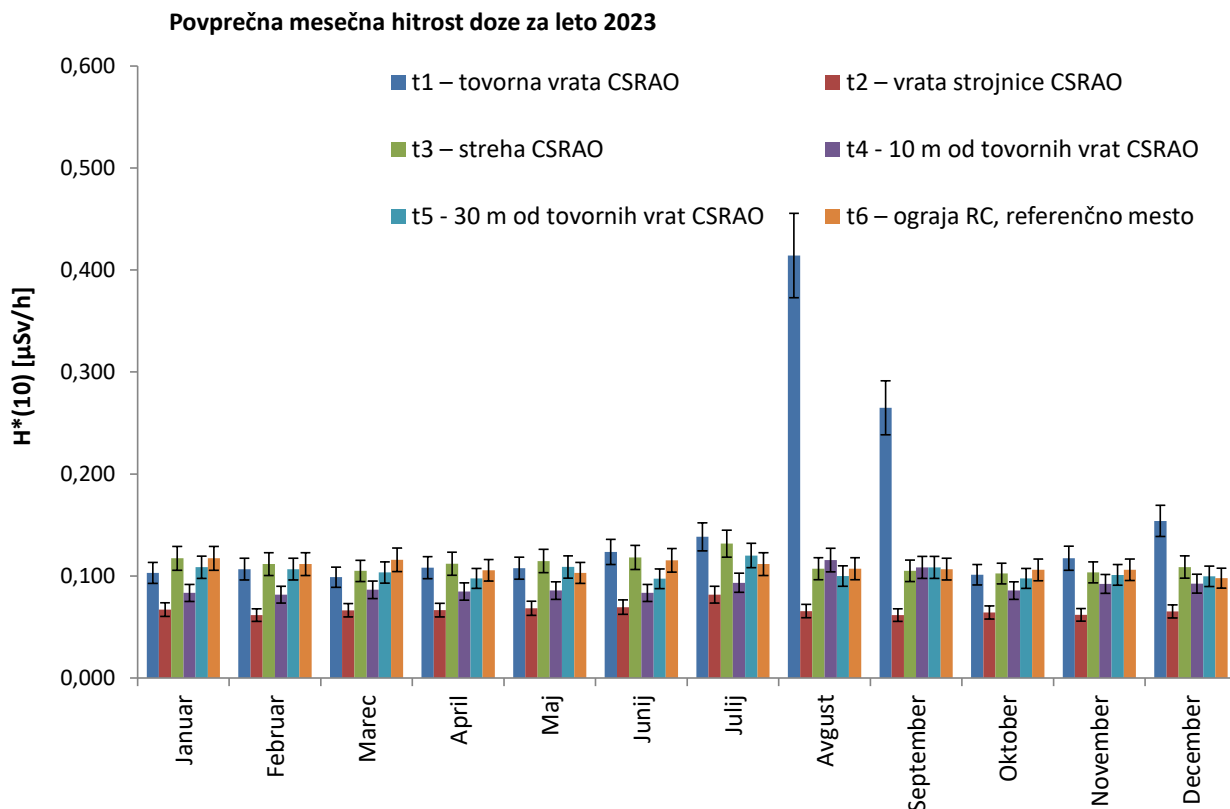
Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze  $H^*(10)$ ) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila višja kot običajno – 1,34 mSv (0,93 mSv v letu 2022). Na strehi objekta je bila izmerjena letna doza običajna 0,97 mSv (1,0 mSv v letu 2022). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje sevanje v neposredni okolici CSRAO primerljivo z naravnim ozadjem, ki je okrog 1 mSv (merjeno s TLD).

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 0,79 mSv (0,73 mSv v letu 2022) in je bila nižja kot na referenčni lokaciji na ograji RC 0,95 mSv (0,99 mSv v letu 2022).

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.



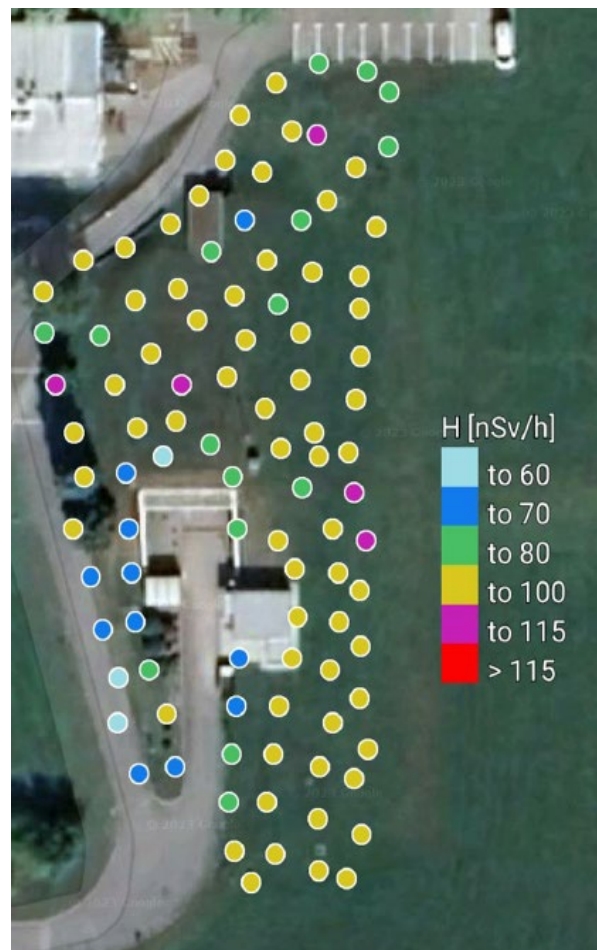
**Graf 2:** Meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letni trendi)



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

Iz grafa 3 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena mesečna povprečna hitrost doze 0,41  $\mu\text{Sv/h}$  na tovornih vratih skladišča. Povišano povprečno hitrost doze smo izmerili v avgustu in septembru in nekoliko povišano tudi v decembru. Razlog za povišane hitrosti doze so bile aktivnosti delavcev ARAO na sodih v okviru testnih meritev puščanja radona iz domnevno problematičnih paketov. Na ostalih lokacijah so bile povprečne hitrosti doze nižje ali primerljive z referenčno lokacijo na ograji RC in v okviru merilnih negotovosti ne odstopajo od običajnega naravnega ozadja.

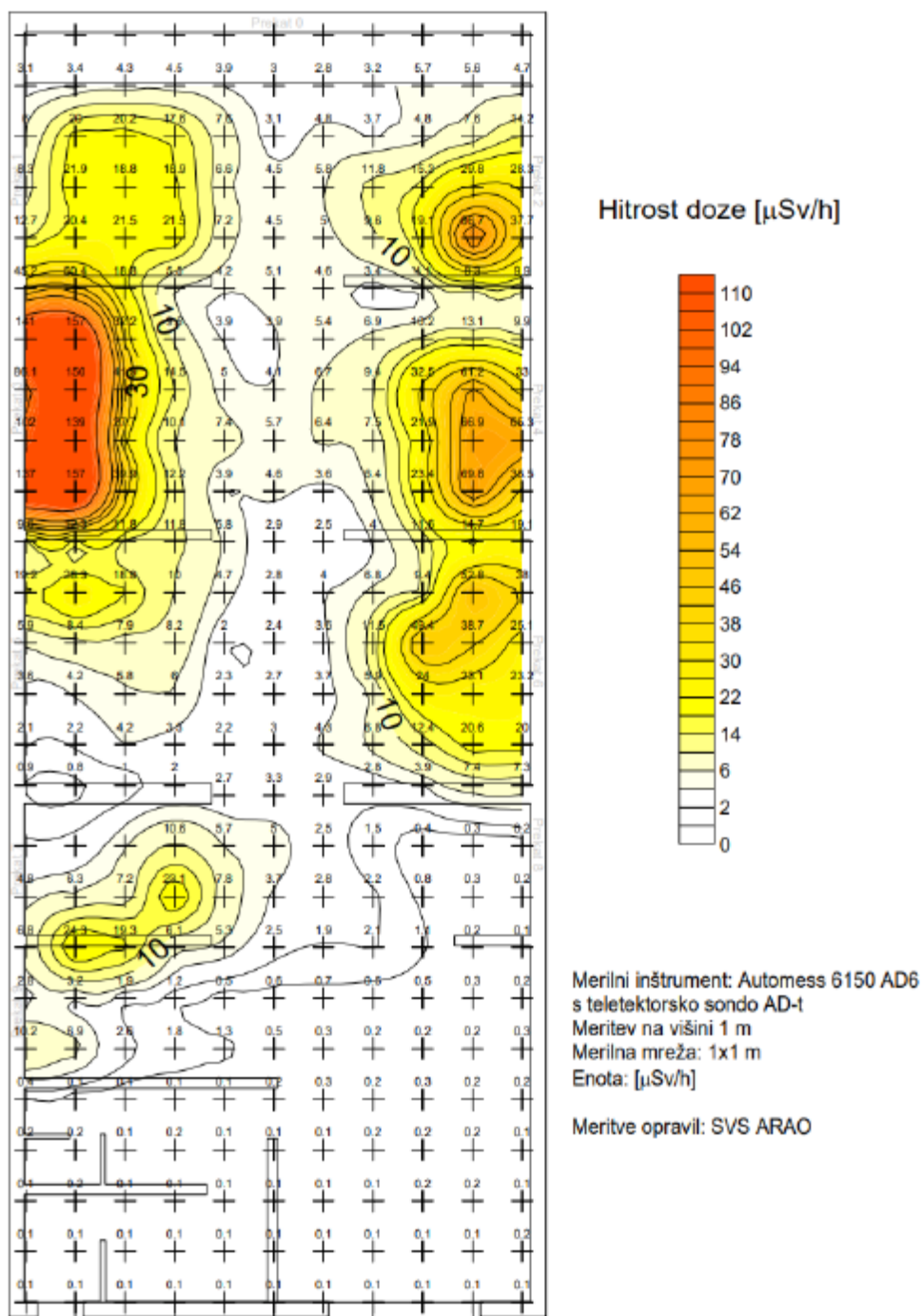
V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile od 0,054  $\mu\text{Sv/h}$  do največ 0,109  $\mu\text{Sv/h}$ . Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.



**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 (maj 2023)

Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekatih 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 so bolj aktivni sodi shranjeni globlje v prekatih. Izmerjene vrednosti hitrosti doze sevanja gama v skladišču so do okrog 100  $\mu\text{Sv/h}$ . Prispevek sevanja zaradi nevtronskih virov je precej nižji.

Zunanje sevanje v okolici objekta je bilo nižje od zakonskih omejitev opredeljenih za mejo med običajnim in opazovanim območjem (povprečna hitrost doze v 8 urah 0,5  $\mu\text{Sv/h}$ ). Nizke hitrosti doze v okolici skladišča so posledica optimalne razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanjega sevanja na okolje. Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča v letu 2023 iz vidika zunanjega sevanja zelo nizek ali zanemarljiv.



**Slika 3:** Izmerjene vrednosti hitrosti doze ( $\mu\text{Sv/h}$ ) dne 5. 10. 2023 s prenosnim merilnikom v CSRAO.



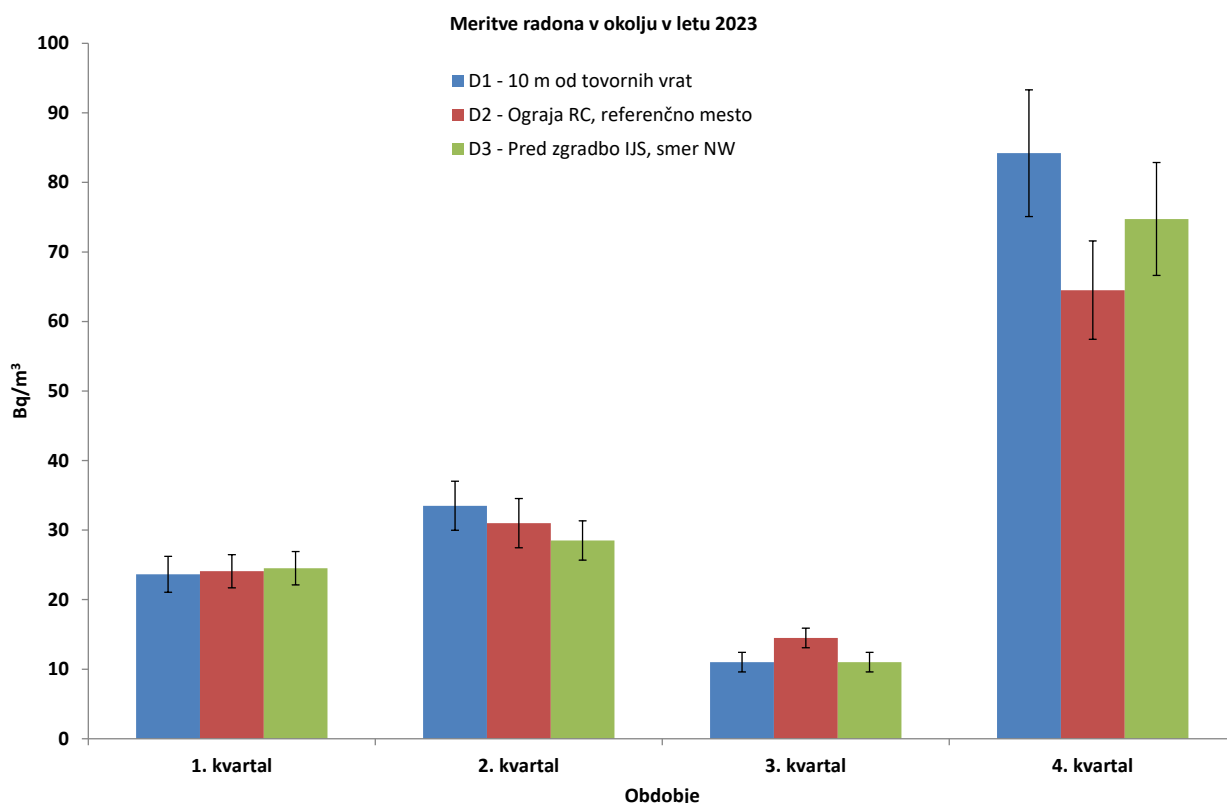
## 2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

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):

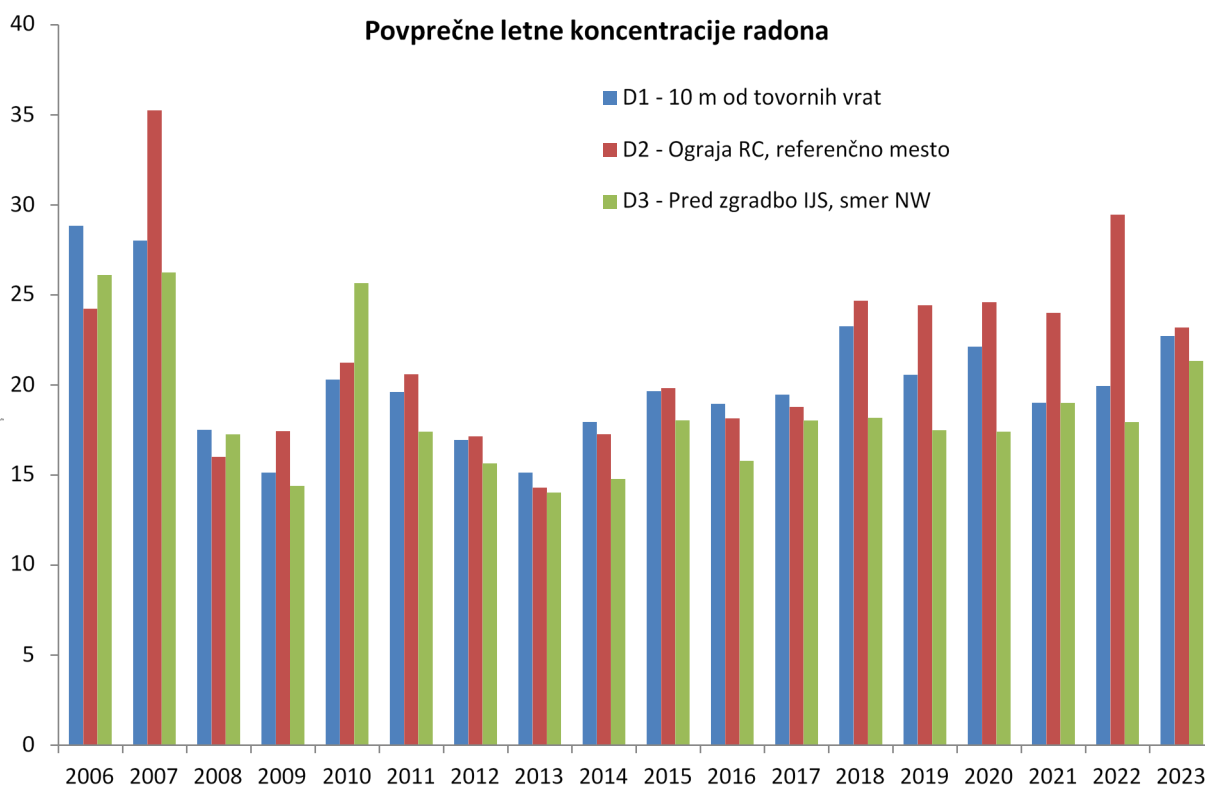
- ob pomožnem objektu, 10 m od tovornih vrat (lokacija - D1)
- na ograji RC IJS, referenčno mesto (lokacija – D2)
- pred zgradbo IJS, smer SZ (lokacija – D3)

Na vsakem merilnem mestu sta bila istočasno izpostavljena dva detektorja na višini 150 cm nad tlemi. Pri vrednotenju smo upoštevali uteženo povprečje obeh detektorjev. Rezultati meritev so podani na grafu 4 in v tabeli 6. V 4. kvartalu so bile meritve na vseh lokacijah višje od običajnih izmerjenih vrednosti. Z izvajalcem meritev se strinjamo, da je najverjetneje prišlo do napake vzorčenja ali odčitavanja detektorjev sledi. Zaradi tega jesenskih meritev nismo upoštevali pri vrednotenju vpliva na okolje. Povprečne letne koncentracije so izračunane iz meritev v prvih treh kvartalih.

Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji 10 m od tovornih vrat (D1) je bila  $(23 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$ . Na lokaciji pred zgradbo IJS (D3) je bila povprečna koncentracija  $(21 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$  in na referenčnem mestu (D2) je bila  $(23 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$ . Večino let opažamo najvišje izmerjene koncentracije na referenčni lokaciji, kar je posledica naravne ekshalacije radona iz okoliške zemlje. Običajno so višje koncentracije v zimskih mesecih zaradi inverznih vremenskih pogojev. Na izmerjene koncentracije vpliva tudi obseg padavin v posameznem kvartalu. Vse letne povprečne vrednosti so sicer 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 koncentracije radona v okolici objekta CSRAO. V letu 2023 nismo upoštevali meritev zadnjega kvartala pri izračunu povprečne letne koncentracije.

Na splošno so povprečne letne koncentracije radona v neposredni okolici objekta CSRAO takšne, kot jih običajno izmerimo drugod v Sloveniji – okrog 20 Bq/m<sup>3</sup> (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 (na strehi skladišča in pred pomožnim objektom). V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile opravljene tudi primerjalne meritve in-situ med ARAO in IJS (ELME) na strehi skladišča 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.

IJS je zaznal tudi prisotnost Co-60, ki je posledica sevanja iz skladišča in ni prisoten v sami zemljini nad skladiščem. Ostali umetni radionuklidi, shranjeni v skladišču, niso bili zaznani zaradi debele betonske zaščite.

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 2023, 09-01-002/JŠ/24-SVS-03). Na asfaltnih površinah je bilo zaznano le običajno naravno ozadje ( $5 \text{ s}^{-1}$  –  $8 \text{ s}^{-1}$ , sevanje beta/gama).

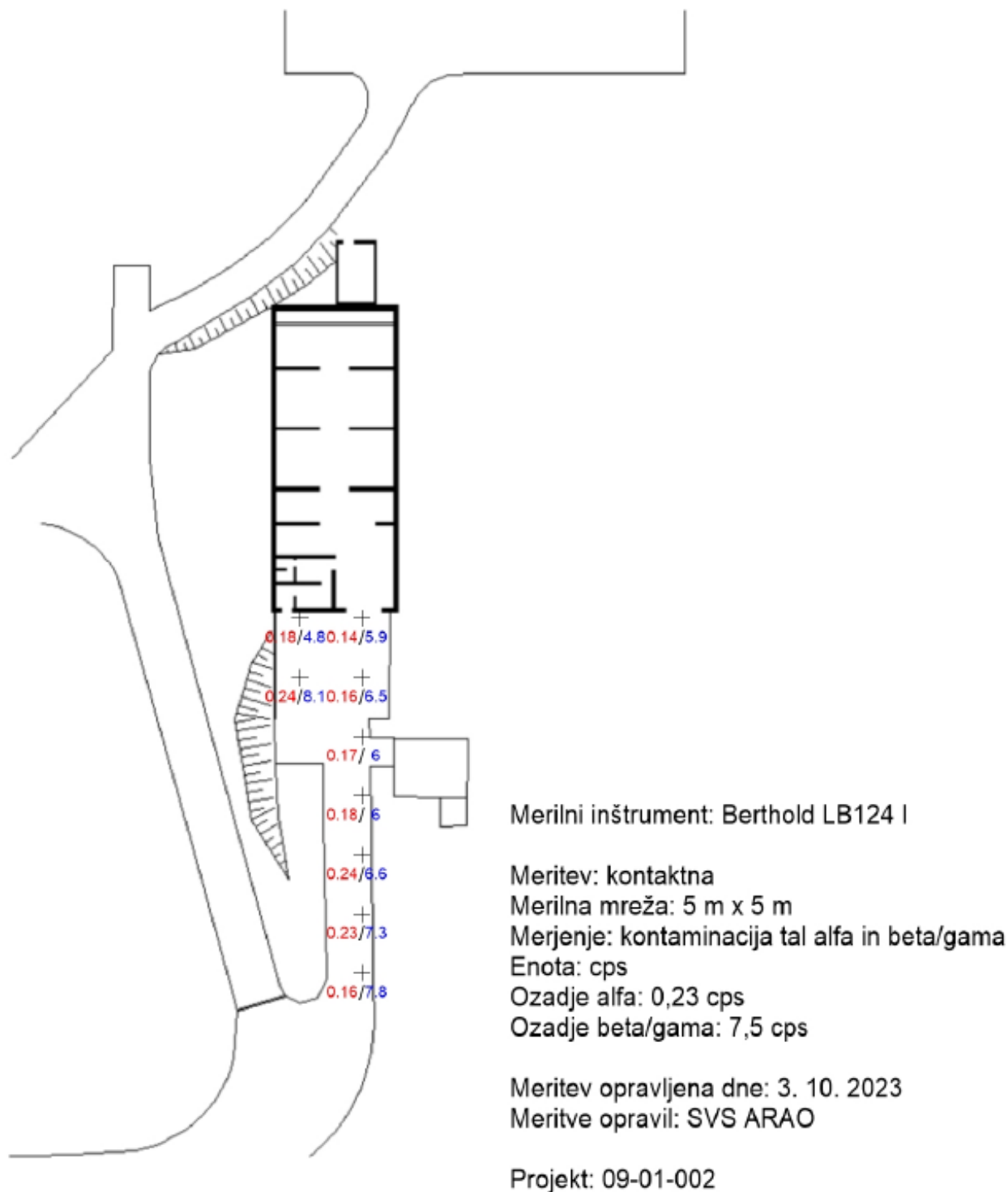
### 2.5.2 TALNI USED

V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji Ograja, ki je referenčno mesto, kjer se meri 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  $740 \text{ Bq/m}^2$ . 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 nižje intenzitete (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), izmerjene so bile 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. Skladno z modelom smo pri tem predpostavili, da je prezračevanje skladiščnega prostora delovalo pol leta. Izpusti vključujejo tudi prispevek radona zaradi naravnega okolja (radonski tok skozi stene in talno ploščo objekta CSRAO). Slednji prispevek je po naši oceni majhen. 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  $18 \text{ Bq/s} \pm 30\%$ . Ocenjena povprečna hitrost izpuščanja je višja kot v preteklem letu in je lahko posledica zelo nestabilnih vremenskih pogojev v času meritve.

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 10 ur meritev koncentracije radona po izklopu ventilacije, ko lahko predpostavimo linearno naraščanje koncentracije. Radonski tok se grobo oceni iz 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.

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 2023 ocenjujemo na približno **0,56 GBq/leto**, kar je več kot v predhodnem letu (0,38 GBq/leto) vendar precej nižje od obratovalnega dovoljenja 6,3 GBq/leto. Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 900 m<sup>2</sup> (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m<sup>2</sup>s).



**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 [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*                                      |
| V letu 2022   | 12                                   | 17*                                      |
| V letu 2023   | 18                                   | 26**                                     |

\* Povprečje letne in zimske meritve

\*\* Samo zimska meritev

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 vzeta 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 1 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 objekta. Upoštevali smo izpust 17,8 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>14,2</b> | <b>1,8</b> | <b>0,7</b> | <b>0,2</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>32,0</b> | <b>3,6</b> | <b>1,2</b> | <b>0,4</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 Cs-137, ki je posledica globalne kontaminacije, in tudi Am-241, ki je posledica dela v skladišču. Izmerjene koncentracije so 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). Cisterna podzemnega zbiralnika je bila v tem letu dvakrat izpraznjena v okolje. 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). Zaradi kontinuitete vrednotenja doz pri vdihavanju radonovih razpadnih produktov 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), kjer so bili dozni faktorji skladni z ICRP 65. Vzporedno smo naredili izračune tudi z upoštevanjem novih dozni faktorjev iz Uredbe o nacionalnem radonskem programu (UV4, Uradni list RS št. 18/18), kjer so upoštevani dozni faktorji iz ICRP 137.

Pri oceni prejete efektivne doze smo upoštevali dve prenosni poti:

- vpliv zunanjega sevanja gama in
- inhalacijo radonovih potomcev.

Vpliv zunanjega sevanja smo ovrednotili na podlagi rezultatov meritev TLD.

Vpliv radona in potomcev smo ocenili na podlagi ocenjenega povprečnega izpusta 17,8 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 Rektorskega centra (odrasla oseba).

Slednji predstavlja referenčno skupino iz prebivalstva. Po naših ocenah se druge starostne skupine prebivalstva časovno zelo omejeno zadržujejo v neposredni okolici Rektorskega 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. Pri upoštevanju doznih faktorjev za radonove razpadne produkte smo upoštevali staro in novo metodologijo:

ICRP 65 (stara metodologija)

Upoštevamo dozni pretvorbeni faktor  $DF_{EEC}$  iz koncentracije radonovih potomcev (EEC) v dozo za okoliškega kmeta in varnostnika IJS -  $7,87 \times 10^{-9}$  Sv/(Bq·ura)/m<sup>3</sup>.

Podobni dozni faktor  $DF_{EEC}$  radonovih potomcev smo upoštevali za pisarniškega delavca na IJS -  $6,1 \times 10^{-9}$  Sv/(Bq·ura)/m<sup>3</sup> (upoštevana manjša hitrosti dihanja).

ICRP 137 (nova metodologija)

Upoštevamo dozni pretvorbeni faktor  $DF_{EEC}$  iz koncentracije radonovih potomcev (EEC) v dozo za okoliškega kmeta, varnostnika in delavca IJS -  $16,7 \times 10^{-9}$  Sv/(Bq·ura)/m<sup>3</sup>. Pri vseh je upoštevano, da ne opravljajo težka fizična dela.

6. Upoštevamo, da je doza zaradi radona zanemarljiva glede na prejeto dozo zaradi radonovih potomcev.
7. 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 (< 10 μSv/h).**

**Tabela 3:** Ocenjena letna efektivna doza za referenčno skupino (upoštevani sta obe metodologiji vrednotenja doz)

|   | Varnostnik - receptor | Okoliški kmet   | Delavec IJS   |
|---|-----------------------|-----------------|---------------|
| Oddaljenost (m):                        | 10                    | 50              | 30            |
| Radonovi potomci (μSv/leto) - ICRP 65   | <b>1,2</b>            | <b>0,05</b>     | <b>2,5</b>    |
| Radonovi potomci (μSv/leto) - ICRP 137  | <b>2,5</b>            | <b>0,11</b>     | <b>6,8</b>    |
| Zunanje sevanje (μSv)                   | <b>0</b>              | <b>0</b>        | <b>0</b>      |
| <b>Skupna efektivna doza (μSv/leto)</b> | <b>&lt; 3</b>         | <b>&lt; 0,2</b> | <b>&lt; 7</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,<br>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 ×                   |

##### ZUNANJE SEVANJE

| Vrsta in opis meritve            | Vzorčevalno mesto   | Vrsta vzorca           | Pogostost vzorčenja      | Pogostost meritve | Letno število meritev |
|----------------------------------|---|------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| Zunanje sevanje,<br>TL dozimeter | t1 – tovarna vrata CSRAO<br>t2 – vrata strojnice<br>t3 – streha CSRAO<br>t4 – 10 m od tovornih vrat CSRAO<br>t5 – 30 m od tovornih vrat CSRAO | Doza zunanjega sevanja | Kontinuirano,<br>1 mesec | 1-krat mesečno    | 12 × 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 1-krat letno, zimski ali poletni čas | 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<br>d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto)<br>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)<br>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 meritvev   |
|-----------------------------|---|-----------------------------|---------------------|--|--|
| Spektrometrija gama In-situ | Na ožjem območju zunaj skladišča CSRAO                | Travnata tla                | Neposredna meritvev | 2-krat letno   | 2-krat letno   |
| Sevanje alfa                | Asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine | Delovne in pohodne površine | Neposredna meritvev | Kontrolno 1-krat letno,<br>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 meritvev | Kontrolno 1-krat letno,<br>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 meritvev | Kontrolno 1-krat letno,<br>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 meritvev |
|---|--|--------------------|---|-------------------|------------------------|
| 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 | RA23-VN1-61<br>23. 6. 2023                   | RA23-VN1-B1<br>13. 11. 2023                  |
|---------------|--|--|
| RADIONUKLID   | Specifična aktivnost<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Specifična aktivnost<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
| Be-7          | 5,3E+00 ± 1,3E+00                            | 2,1E+00 ± 6,6E-01                            |
| K-40          | 3,5E+02 ± 1,3E+01                            | 2,0E+02 ± 6,8E+00                            |
| Cs-137        | < 2,8E-01                                    | 9,1E-02 ± 6,6E-02                            |
| Pb-210        | 1,7E+01 ± 2,6E+00                            | 9,8E+00 ± 8,1E-01                            |
| Ra-226        | –  | 9,3E-01 ± 2,9E-01                            |
| Ra-228        | –  | < 8,1E-01                                    |
| Th-228        | < 1,5E+00                                    | 4,8E-01 ± 2,0E-01                            |
| U-238         | 4,0E+00 ± 1,8E+00                            | –  |
| Am-241        | 3,4E-01 ± 0,7E-02                            | –  |

### 4.2.2 Zunanje sevanje

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

| Datum                    | Mesec     | t1 –<br>tovarna<br>vrata<br>CSRAO | t2 –<br>vrata<br>strojnice<br>CSRAO | t3 –<br>streha<br>CSRAO | t4 –<br>10 m od<br>tovornih<br>vrat CSRAO | t5 –<br>30 m od<br>tovornih<br>vrat CSRAO | t6 –<br>na ograji RC,<br>referenčno<br>mesto |
|--------------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---|---|--|
| 6. 1.–13. 2. 2023        | Januar    | 0,094                             | 0,061                               | 0,107                   | 0,076                                     | 0,099                                     | 0,107  |
| 13. 2.–10. 3. 2023       | Februar   | 0,064                             | 0,037                               | 0,067                   | 0,049                                     | 0,064                                     | 0,067  |
| 10. 3.–6. 4. 2023        | Marec     | 0,064                             | 0,043                               | 0,068                   | 0,056                                     | 0,067                                     | 0,075  |
| 6. 4.–8. 5. 2023         | April     | 0,083                             | 0,051                               | 0,086                   | 0,065                                     | 0,075                                     | 0,081  |
| 8. 5.–13. 6. 2023        | Maj       | 0,093                             | 0,059                               | 0,099                   | 0,074                                     | 0,094                                     | 0,089  |
| 13. 6.–13. 7. 2023       | Junij     | 0,089                             | 0,050                               | 0,085                   | 0,060                                     | 0,070                                     | 0,083  |
| 13. 7.–7. 8. 2023        | Julij     | 0,083                             | 0,049                               | 0,079                   | 0,056                                     | 0,072                                     | 0,067  |
| 7. 8.–11. 9. 2023        | Avgust    | 0,348                             | 0,055                               | 0,090                   | 0,097                                     | 0,084                                     | 0,090  |
| 11. 9.–6. 10. 2023       | September | 0,159                             | 0,037                               | 0,063                   | 0,065                                     | 0,065                                     | 0,064  |
| 6. 10.–10. 11. 2023      | Oktober   | 0,085                             | 0,054                               | 0,086                   | 0,072                                     | 0,082                                     | 0,089  |
| 10. 11.–13. 12. 2023     | November  | 0,093                             | 0,049                               | 0,082                   | 0,073                                     | 0,080                                     | 0,084  |
| 13. 12. 2023–5. 1. 2024  | December  | 0,085                             | 0,036                               | 0,060                   | 0,051                                     | 0,055                                     | 0,054  |
| <b>Letna doza (mSv):</b> |           | <b>1,34</b>                       | <b>0,58</b>                         | <b>0,97</b>             | <b>0,79</b>                               | <b>0,91</b>                               | <b>0,95</b>                                  |



#### 4.2.3 Zrak

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

| 2023                                     | Koncentracija (Bq/m <sup>3</sup> ) |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | Lokacija                           | 6.1.–30. 3. 2023 | Uteženo povprečje | 30. 3.–3. 7. 2023 | Uteženo povprečje | 3. 7.–3. 10. 2023 | Uteženo povprečje | 27. 9.–3. 1. 2024 |
| d1 – ob pomožnem objektu                 | 21 ± 3                             | 24 ± 3           | 32 ± 5            | 34 ± 4            | 10 ± 2            | 11 ± 1            | 94 ± 14           | 84 ± 9            |
|  | 31 ± 5                             |                  | 35 ± 5            |                   | < 10*             |                   | 77 ± 12           |                   |
| d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto) | 23 ± 3                             | 24 ± 2           | 31 ± 5            | 31 ± 4            | 15 ± 2            | 15 ± 1            | 65 ± 10           | 65 ± 7            |
|  | 26 ± 4                             |                  | 31 ± 5            |                   | 14 ± 2            |                   | 64 ± 10           |                   |
| d3 – SZ rob CSRAO ob stavbi IJS          | 29 ± 4                             | 25 ± 2           | 29 ± 4            | 29 ± 3            | 12 ± 2            | 11 ± 1            | 72 ± 11           | 75 ± 8            |
|  | 22 ± 3                             |                  | 28 ± 4            |                   | < 10*             |                   | 78 ± 12           |                   |

\* Za izračun uteženega povprečja smo upoštevali koncentracijo (10 ± 2) Bq/m<sup>3</sup>

#### 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 | RA23-VRP1-61<br>P–1 piezometer zgornji BSP-1<br>(severno od CSRAO)<br>23. 6. 2023 | RA23-VRP2-61<br>P–2 piezometer spodnji BSP-2<br>(južno od CSRAO)<br>23. 6. 2023 |
|---------------|---|---|
|               | Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )   | Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )                                       |
| RADIONUKLID   |   |   |
| Be-7          | 1,6E+00 ± 8,9E–01   | 5,1E+00 ± 8,3E–01   |
| K-40          | 3,1E+01 ± 4,0E+00   | 3,3E+01 ± 1,5E+00   |
| Pb-210        | 4,3E+00 ± 1,9E+00   | 4,1E+00 ± 8,3E–01   |
| Ra-226        | < 1,1E+00   | 4,9E–01 ± 2,4E–01   |
| Ra-228        | 6,0E–01 ± 4,1E–01   | 4,6E–01 ± 1,8E–01   |
| Th-228        | < 5,4E–01   | < 2,4E–01   |
| U-238         | 2,5E+00 ± 1,5E+00   | 2,5E+00 ± 5,1E–01   |



#### 4.2.5 Meritve kontaminacije tal

**Tabela 8:** Spektrometrija gama in-situ na strehi skladišča. Primerjalne meritve med IJS (ELME) in ARAO.

| Lokacija                                | Streha skladišča     |                     |
|---|----------------------|---------------------|
|   | HPGe – IJS (ELME)    | 3×3" NaI(Tl) – ARAO |
| Datum meritev                           | 13. 10. 2023         | 13. 10. 2023        |
| Predpostavljena enakomerna porazdelitev | (Bq/kg)              |                     |
| Be-7                                    | 12 ± 4               | –                   |
| K-40                                    | 299 ± 61             | 297 ± 89            |
| Co-60                                   | 0,6 ± 0,1            | –                   |
| Cs-137                                  | 7 ± 2                | 8 ± 3               |
| Ra-226 (Bi-214)                         | 58 ± 12              | 32 ± 10             |
| Ra-228                                  | 26 ± 5               | –                   |
| Th-228                                  | 28 ± 6               | 27 ± 8              |
| Predpostavljena površinska porazdelitev | (Bq/m <sup>2</sup> ) |                     |
| Be-7                                    | 390 ± 110            | –                   |
| Co-60                                   | 26 ± 7               | –                   |
| Cs-137                                  | 240 ± 50             | 249 ± 75            |

#### 4.2.6 Talni used

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

| Oznaka vzorca | RA23-PV1-M1<br>6. 1. 2023–5. 1. 2024         |
|---------------|--|
| RADIONUKLID   | Specifična aktivnost<br>(Bq/m <sup>2</sup> ) |
| Be-7          | 7,4E+02 ± 4,8E+01                            |
| K-40          | 1,9E+00 ± 4,6E-01                            |
| Cs-137        | 1,1E-01 ± 2,0E-02                            |
| Pb-210        | 7,0E+01 ± 3,7E+00                            |
| Ra-226        | 4,0E-01 ± 1,9E-01                            |
| Ra-228        | 7,5E-02 ± 4,9E-02                            |
| Th-228        | 1,8E-01 ± 2,9E-02                            |
| U-238         | 7,3E-01 ± 1,6E-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            | 2,05                |
| Na-22           | 0,33                |
| K-40            | 3,79                |
| Cr-51           | 2,16                |
| Mn-54           | 0,15                |
| Co-57           | 0,07                |
| Co-58           | 0,16                |
| Fe-59           | 0,34                |
| Co-60           | 0,30                |
| Zn-65           | 1,42                |
| Zr-95           | 0,24                |
| Nb-95           | 0,26                |
| Ru-103          | 0,62                |
| Ru-106          | 1,90                |
| Sb-124          | 0,17                |
| Sb-125          | 0,10                |
| I-131           | 1,25                |
| Cs-134          | 0,12                |
| Cs-137          | 0,28                |
| Ba-140          | 1,39                |
| Pb-210          | 2,57                |
| Ra-226          | 1,55                |
| Ra-228          | 0,66                |
| Th-228          | 0,40                |
| U-238           | 4,58                |



#### 4.5 NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti so bile v letu 2023 izvedene primerjave meritev zunanjega sevanja z okoljsko TL dozimetrijo med ZVD in IJS v mesecu septembru (Tabela 11).

**Tabela 11:** Primerjalne meritve TL dozimetrov med IJS in ZVD. Merske negotovosti so poročane s faktorjem pokritja  $k=1$ .

| Lokacija                        | Datum             | Meritve ZVD   | Meritve IJS   | $M_{IJS}/M_{ZVD}$ | u-test      |
|---------------------------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|
|                                 |                   | H*(10) [mSv]  | H*(10) [mSv]  |                   |             |
| <b>t1 - tovarna vrata CSRAO</b> | 11.9. - 6.10.2023 | 0,205 ± 0,015 | 0,159 ± 0,016 | 0,78              | <b>2,08</b> |
| <b>t2 - vrata strojnice</b>     | 11.9. - 6.10.2023 | 0,044 ± 0,003 | 0,037 ± 0,004 | 0,84              | 1,41        |
| <b>t3 - streha CSRAO</b>        | 11.9. - 6.10.2023 | 0,068 ± 0,005 | 0,063 ± 0,006 | 0,93              | 0,62        |
| <b>t4 - 10m od vrat CSRAO</b>   | 11.9. - 6.10.2023 | 0,076 ± 0,006 | 0,065 ± 0,007 | 0,86              | 1,27        |
| <b>t5 - 30m od vrat CSRAO</b>   | 11.9. - 6.10.2023 | 0,067 ± 0,005 | 0,065 ± 0,007 | 0,97              | 0,24        |

Rezultate meritev smo primerjali med seboj z u-testom.

Kriterij sprejemljivosti za  $u = \frac{|M_{IJS} - M_{ZVD}|}{\sqrt{u_{ZVD}^2 + u_{IJS}^2}}$  je  $u < 1,96$

kjer sta  $M$  in  $u$  meritev in negotovost meritve ZVD in IJS. Ujemanje meritev je zadovoljivo, saj je odstopanje večine meritev manjše od 20 %. ZVD poroča sistematsko višje doze (v povprečju za 13 %). Podoben trend smo opazili že v prejšnjih letih. V okviru u-testa se skoraj vsi rezultati ujemajo. Izjema je prva lokacija, kjer je odstopanje nekoliko večje (23 %) in u-test presega kriterij sprejemljivosti.



## 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-2023 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil and Water

V letu 2023 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 zemlje določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in zemlje z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Obenem je IJS sodeloval tudi pri testu homogenosti in časovne stabilnosti teh vzorcev. Individualna poročila smo prejeli decembra 2023.

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 14 za Odsek F-2) in primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in v vzorcu zemlje.

Vsi rezultati so sprejemljivi.

### REZULTATI IJS (Odsek F-2)

| <b>IARMA ERAD-PT-2023</b><br><b>Sample IARMA-158, Water Sample</b><br>analize IJS opravljene <i>oktobra in novembra 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>decembra 2023</i> |              |                     |                |        |                |
|--|--------------|---------------------|----------------|--------|----------------|
| IZOTOP   | IARMA        | IJS<br>Lab. No. 014 | Rel. Bias<br>% | Z-test | Final<br>score |
| (Bq/kg)  |              |                     |                |        |                |
| Co-60  | 1,60 ± 0,06  | 1,71 ± 0,05         | 6,9            | 0,7    | A              |
| Ba-133   | 1,42 ± 0,05  | 1,40 ± 0,20         | -1,4           | -0,1   | A              |
| Cs-137   | 2,05 ± 0,07  | 2,31 ± 0,07         | 12,7           | 1,3    | A              |
| Eu-152   | 2,52 ± 0,09  | 2,57 ± 0,13         | 2,0            | 0,2    | A              |
| Pb-210   | 19,11 ± 0,67 | 19,40 ± 2,00        | 1,5            | 0,2    | A              |
| Th-232   | 21,78 ± 0,76 | 22,00 ± 0,7         | 1,0            | 0,1    | A              |
| U-238  | 8,42 ± 0,29  | 8,40 ± 0,90         | -0,2           | 0,0    | A              |
| Am-241   | 3,57 ± 0,12  | 3,76 ± 0,29         | 5,3            | 0,5    | A              |



| <b>IARMA ERAD-PT-2023</b><br><b>Sample IARMA-159, Water Sample</b><br>analize IJS opravljene <i>oktobra in novembra 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>decembra 2023</i> |              |                     |                |        |                |
|--|--------------|---------------------|----------------|--------|----------------|
| IZOTOP   | IARMA        | IJS<br>Lab. No. 014 | Rel. Bias<br>% | Z-test | Final<br>score |
|  | (Bq/kg)      |                     |                |        |                |
| Co-60  | 2,55 ± 0,08  | 2,57 ± 0,08         | 0,8            | 0,1    | A              |
| Ba-133   | 3,88 ± 0,12  | 3,90 ± 0,27         | 0,5            | 0,1    | A              |
| Cs-137   | 5,27 ± 0,16  | 5,69 ± 0,17         | 8,0            | 0,8    | A              |
| Eu-152   | 3,80 ± 0,11  | 3,65 ± 0,18         | -3,9           | -0,4   | A              |
| Pb-210   | 28,43 ± 1,10 | 31,90 ± 1,80        | 12,2           | 1,2    | A              |
| Th-232   | 28,90 ± 1,10 | 30,80 ± 0,90        | 6,6            | 0,7    | A              |
| U-238  | 8,23 ± 0,31  | 8,70 ± 1,10         | 5,7            | 0,6    | A              |
| Am-241   | 7,11 ± 0,21  | 7,84 ± 0,37         | 10,3           | 1,0    | A              |

| <b>IARMA ERAD-PT-2023</b><br><b>Sample IARMA-160, Water Sample</b><br>analize IJS opravljene <i>oktobra in novembra 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>decembra 2023</i> |              |                     |                |        |                |
|--|--------------|---------------------|----------------|--------|----------------|
| IZOTOP   | IARMA        | IJS<br>Lab. No. 014 | Rel. Bias<br>% | Z-test | Final<br>score |
|  | (Bq/kg)      |                     |                |        |                |
| Co-60  | 5,65 ± 0,71  | 5,72 ± 0,17         | 1,2            | 0,1    | A              |
| Ba-133   | 7,98 ± 0,24  | 7,64 ± 0,30         | -4,3           | -0,4   | A              |
| Cs-137   | 9,95 ± 0,30  | 10,40 ± 0,30        | 4,5            | 0,5    | A              |
| Eu-152   | 6,25 ± 0,19  | 6,27 ± 0,25         | 0,3            | 0,0    | A              |
| Pb-210   | 38,40 ± 1,09 | 33,00 ± 3,30        | -14,1          | -1,4   | A              |
| Th-232   | 38,02 ± 1,52 | 41,10 ± 1,30        | 8,1            | 0,8    | A              |
| U-238  | 18,52 ± 0,56 | 21,00 ± 2,10        | 13,4           | 1,3    | A              |
| Am-241   | 11,72 ± 1,25 | 12,40 ± 0,60        | 5,8            | 0,6    | A              |





| <b>IARMA ERAD-PT-2023</b><br><b>Sample IARMA-157, Soil</b><br>analize IJS opravljene <i>oktobra in novembra 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>decembra 2023</i> |                |                     |                |        |                |
|--|----------------|---------------------|----------------|--------|----------------|
| IZOTOP   | IARMA          | IJS<br>Lab. No. 014 | Rel. Bias<br>% | Z-test | Final<br>score |
|  | (Bq/kg)        |                     |                |        |                |
| K-40   | 440,00 ± 11,00 | 416,40 ± 12,50      | -5,4           | -0,5   | A              |
| Cs-137   | 40,73 ± 1,26   | 40,10 ± 1,20        | -1,5           | -0,2   | A              |
| Tl-208   | 12,80 ± 0,58   | 13,20 ± 0,40        | 3,1            | 0,3    | A              |
| Pb-210   | 47,50 ± 2,38   | 53,30 ± 2,50        | 12,2           | 1,2    | A              |
| Pb-212   | 37,70 ± 1,10   | 36,40 ± 1,10        | -3,4           | -0,3   | A              |
| Pb-214   | 38,60 ± 1,16   | 40,90 ± 1,20        | 6,0            | 0,6    | A              |
| Bi-214   | 38,40 ± 1,15   | 40,00 ± 1,20        | 4,2            | 0,4    | A              |
| Ra-226   | 39,00 ± 1,20   | 41,10 ± 2,50        | 5,4            | 0,5    | A              |
| Ac-228   | 36,70 ± 1,20   | 36,70 ± 1,10        | 0,0            | 0,0    | A              |

#### 4.6.2 IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Avstrija

##### IAEA ALMERA Proficiency Test Exercise on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, soil and simulated contaminated surface samples, IAEA-TERC-2023-02

V juniju 2023 je Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, en vzorec zemlje in 3 vzorce simulirane kontaminirane površine za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama v vseh vzorcih vode, zemlje in dveh vzorcih simulirane kontaminirane površine, tretji vzorec simulirane kontaminirane površine je vseboval le Sr-90, ki je sevalec beta. Končne individualne rezultate smo prejeli novembra 2023 [*Individual Evaluation Report for Labcode No. 27 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TERC-2023-02, IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Seibersdorf, November 2023*].

V naslednjih 7 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 27 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.

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

Poleg tega smo sami naredili še  $\zeta$ -test:

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

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

Vsi rezultati so sprejemljivi, razen za Ra-226 in U-235 v vzorcu zemlje. Rezultat za Ra-226 je previsok, najverjetneje zaradi neustreznega ovrednotenja ekshalacije radona iz vzorca. Rezultat za U-235 se odlično ujema z referenčno vrednostjo, a je označen kot vprašljiv zaradi velike merilne negotovosti (testa točnosti).

### REZULTATI IJS (Odsek F-2)

| <b>IAEA-TERC-2023-02</b><br><b>Sample 01, Spiked Water</b><br>analize IJS opravljene <i>junija in julija 2023</i> ,<br>individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2023</i> |             |                    |                |               |               |                |
|---|-------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| IZOTOP  | IAEA        | IJS<br>Lab. No. 27 | Rel. Bias<br>% | $\zeta$ -test | P-test<br>(%) | Final<br>score |
|   | (Bq/kg)     |                    |                |               |               |                |
| Co-60   | 14,7 ± 0,7  | 15,3 ± 0,5         | 4,1            | 0,70          | 5,78          | A              |
| U-238   | 5,60 ± 0,28 | 5,7 ± 0,8          | 1,8            | 0,12          | 14,90         | A              |
| Am-241  | 22,3 ± 1,1  | 23,3 ± 0,7         | 4,5            | 0,77          | 5,78          | A              |

| <b>IAEA-TERC-2023-02</b><br><b>Sample 02, Spiked Water</b><br>analize IJS opravljene <i>od junija do avgusta 2023</i> ,<br>individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2023</i> |             |                    |                |               |               |                |
|---|-------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| IZOTOP  | IAEA        | IJS<br>Lab. No. 27 | Rel. Bias<br>% | $\zeta$ -test | P-test<br>(%) | Final<br>score |
|   | (Bq/kg)     |                    |                |               |               |                |
| Sb-125  | 73,0 ± 3,6  | 75,4 ± 2,3         | 3,3            | 0,07          | 5,80          | A              |
| Cs-134  | 40,0 ± 2,0  | 40,2 ± 1,2         | 0,5            | 0,09          | 5,82          | A              |
| Cs-137  | 44,1 ± 2,2  | 45,4 ± 1,4         | 2,9            | 0,50          | 5,86          | A              |
| Pb-210  | 5,23 ± 0,26 | 6 ± 1              | 14,7           | 0,75          | 17,39         | A              |



| IAEA-TERC-2023-02<br>Sample 04, Japanese soil<br>analize IJS opravljene <i>avgusta 2023</i> ,<br>individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2023</i> |             |                    |                |        |               |                |
|---|-------------|--------------------|----------------|--------|---------------|----------------|
| IZOTOP  | IAEA        | IJS<br>Lab. No. 27 | Rel. Bias<br>% | ζ-test | P-test<br>(%) | Final<br>score |
|   | (Bq/kg)     |                    |                |        |               |                |
| K-40  | 584 ± 20    | 600 ± 20           | 2,7            | 0,57   | 4,78          | A              |
| Cs-134  | 6,93 ± 0,50 | 7,2 ± 0,2          | 3,9            | 0,50   | 7,73          | A              |
| Cs-137  | 270 ± 17    | 282 ± 9            | 4,4            | 0,62   | 7,06          | A              |
| Pb-210  | 26,6 ± 1,8  | 28,7 ± 2,4         | 7,9            | 0,70   | 10,76         | A              |
| Ra-226  | 20,8 ± 1,0  | 28,5 ± 2,9         | 37,0           | 2,51   | 11,25         | N              |
| Th-234  | 23,0 ± 1,5  | 24,3 ± 2,1         | 5,7            | 0,50   | 10,83         | A              |
| U-235   | 1,22 ± 0,15 | 1,2 ± 0,5          | -1,6           | -0,04  | 43,44         | W              |

| IAEA-TERC-2023-02<br>Sample 05, "Simulated contaminated surface sample, gamma and<br>beta emitting radionuclides"<br>analize IJS opravljene <i>od junija do oktobra 2023</i> ,<br>individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2023</i> |             |                    |                |        |               |                |
|--|-------------|--------------------|----------------|--------|---------------|----------------|
| IZOTOP   | IAEA        | IJS<br>Lab. No. 27 | Rel. Bias<br>% | ζ-test | P-test<br>(%) | Final<br>score |
|  | (Bq/filter) |                    |                |        |               |                |
| Cs-134   | 5,40 ± 0,21 | 5,7 ± 0,2          | 5,6            | 1,03   | 5,24          | A              |

| IAEA-TERC-2023-02<br>Sample 06, "Simulated contaminated surface sample, gamma<br>emitting radionuclide (Cs-134)"<br>analize IJS opravljene <i>od junija do avgusta 2023</i> ,<br>individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2023</i> |             |                    |                |        |               |                |
|---|-------------|--------------------|----------------|--------|---------------|----------------|
| IZOTOP  | IAEA        | IJS<br>Lab. No. 27 | Rel. Bias<br>% | ζ-test | P-test<br>(%) | Final<br>score |
|   | (Bq/filter) |                    |                |        |               |                |
| Cs-134  | 7,84 ± 0,31 | 7,8 ± 0,2          | -0,5           | -0,11  | 4,71          | A              |



#### 4.6.3 NPL, Velika Britanija

### ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY COMPARISON EXERCISE 2021, GL, GH – kontaminirani vodni raztopini

Septembra 2023 je bilo izdano končno poročilo za mednarodne primerjalne meritve "Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2022" [NPL REPORT IR 65, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2022, E.M. van Es, A. K. Pearce, and S. Burke, September 2023], kjer je sodeloval Odsek F-2 z IJS (koda laboratorija 21) pri meritvah vzorcev kontaminiranih vodnih raztopin GL in GH. V teh vodnih raztopinah je bilo treba določiti vsebnosti sevalcev gama, pri čemer so bili v vzorcu GL z nizkimi aktivnostmi, v vzorcu GH pa z visokimi (oziroma z višjimi). Meritve so bile opravljene marca 2023. Končni rezultati analiz in primerjave z referenčnimi vrednostmi NPL so zbrane v naslednjih tabelah. Pri statističnih ocenah so bile uporabljene naslednje zveze:

$$\text{odmik} = \frac{\text{Value}_{\text{reported}} - \text{Value}_{\text{target}}}{\text{Value}_{\text{target}}} \cdot 100 \%$$

$$\zeta\text{-preskus} = \frac{\text{Value}_{\text{reported}} - \text{Value}_{\text{target}}}{\sqrt{u_{\text{reported}}^2 + u_{\text{target}}^2}}$$

$$z\text{-preskus} = \frac{\text{Value}_{\text{reported}} - \text{Value}_{\text{target}}}{0,05823 \cdot \text{Value}_{\text{target}}}$$

Vsi rezultati, razen za Am-241, so sprejemljivi. Pri Am-241 smo imeli tudi največje odstopanje 8,8 %, rezultat pa je bil poročan z nizko merilno negotovostjo, kar je vzrok za opozorilo (W).

#### REZULTATI IJS (Odsek F-2)

| <b>NPL – GL / Lab Code 21</b><br>kontaminirana vodna raztopina s sevalci gama nizkih aktivnosti<br>analize IJS opravljene <i>marca 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>septembra 2023</i> |                |                      |                   |           |           |                 |
|--|----------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|
| IZOTOP   | NPL            | IJS<br>Lab. No. 21.1 | Rel. odmik<br>(%) | ζ-preskus | z-preskus | Končna<br>ocena |
|  | (Bq/kg)        |                      |                   |           |           |                 |
| Mn-54  | 42,69 ± 0,25   | 44,4 ± 1,3           | 4,1               | 1,29      | 0,70      | A               |
| Zn-65  | 38,93 ± 0,28   | 40,6 ± 1,2           | 4,4               | 1,37      | 0,75      | A               |
| Cs-134   | 12,932 ± 0,093 | 13,12 ± 0,39         | 1,5               | 0,47      | 0,25      | A               |
| Pb-210   | 21,78 ± 0,23   | 20,8 ± 1,9           | -4,7              | -0,53     | -0,81     | A               |
| Am-241   | 48,22 ± 0,19   | 52,5 ± 1,6           | 8,8               | 2,67      | 1,51      | W               |



| <b>NPL – GH / Lab Code 21</b><br>kontaminirana vodna raztopina s sevalci gama visokih aktivnosti<br>analize IJS opravljene <i>marca 2023</i> ,<br>končni rezultati objavljeni <i>septembra 2023</i> |                |                      |                   |           |           |                 |
|---|----------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|
| IZOTOP  | NPL            | IJS<br>Lab. No. 21.1 | Rel. odmik<br>(%) | ζ-preskus | z-preskus | Končna<br>ocena |
|   | (Bq/g)         |                      |                   |           |           |                 |
| Co-60   | 20,86 ± 0,10   | 21,24 ± 0,64         | 1,8               | 0,59      | 0,31      | A               |
| Y-88  | 13,665 ± 0,088 | 13,94 ± 0,42         | 2,0               | 0,64      | 0,35      | A               |
| Ba-133  | 8,598 ± 0,075  | 8,28 ± 0,25          | -3,7              | -1,22     | -0,64     | A               |
| Cs-137  | 19,79 ± 0,16   | 20,26 ± 0,61         | 2,4               | 0,75      | 0,41      | A               |
| Ce-139  | 44,76 ± 0,42   | 45,5 ± 1,4           | 1,7               | 0,52      | 0,29      | 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 2023, ARAO 09-01-002/JŠ/24-SVS-03
- 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
- Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1) (Ur.l. RS št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 )
- 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)
- Uredba o nacionalnem radonskem programu (UV4, Ur.l. RS št. 18/18 in št. 152/20)
- Protection against Radon-222 at Home and at Work (ICRP Publication 65)
- Occupational Intake of Radionuclides: Part 3 (ICRP Publication 137)
- **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-06/11* Izvedba programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju

#### **Delovna navodila**

*LMR-DN-05/06* Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod  
*LMR-DN-06/12* Priprava sušine vzorcev vode  
*LMR-DN-08/09* Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama  
*LMR-DN-09/09* Označevanje vzorcev za spektrometrijo alfa, beta in gama  
*LMR-DN-10/14* Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju  
*LMR-DN-11/11* Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG  
*LMR-DN-27/07* Rokovanje z vzorci  
*ELME-DN-14/11* Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama in radiološka karakterizacija lokacije

#### **Kontrolni postopki**

*LMR-KP-06/04* Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov  
*LMR-KP-08/02* Kriteriji sprejemljivosti delovanja spektrometrov gama  
*LMR-KP-09/02* Preverjanje kakovosti kontrolnih virov

#### **Računski postopki**

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

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

#### **Organizacijski postopki**

*TLD-OP-01/05* Opis del in nalog osebja v *Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo*

#### **Delovna navodila**

*TLD-DN-01/11* Priprava, izdaja in sprejem termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)  
*TLD-DN-02/12* Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)  
*TLD-DN-03/11* Izpisovanje, dokumentiranje in arhiviranje poročil o TL dozah

#### **Kontrolni postopki**

*TLD-KP-03/06* Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov

#### **Računski postopki**

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