

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2024



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 2024

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-14999

Štev. projekta ARAO: 09-01-002
Štev. pogodbe ARAO: ARAO P004/2024

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-14999
februar 2025

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2024

KLJUČNE BESEDE:

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

POVZETEK:

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov so podani z ocenami efektivnih doz. V letu 2024 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na $< 0,1 \mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-14999
February 2025

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2024

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 $< 0.1 \mu\text{Sv}$ per year for the reference person (local farmer).



VSEBINA

1	Uvod	4
2	Ovrednotenje meritev	5
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
3	Ocena vpliva na okolje	17
3.1	Atmosferski izpusti	17
3.2	Tekočinski izpusti	19
3.3	Ocena prejete doze	19
4	Merski rezultati	21
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 IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, bauxite, sediment and simulated contaminated surface samples ALMERA, IAEA, Terrestrial Environment Radiochemistry Laboratory (TERC)	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 2024. Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program obratovalnega monitoringa radioaktivnosti, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, Poglavje 13, rev. 3, ARAO-04-01-026-001, maj 2023. 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 2024 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.

V aprilu in maju je v CSRAO potekala priprava tovorkov z ionizacijskimi javljalniki požara, ki vsebujejo izotop Am-241 in so bili predmet odvoza v Nemčijo na obdelavo in reciklažo.

Meseca julija je ARAO opravil izpraznitev prekata št. 4. Izvedel je pregled stanja vseh skladiščenih paketov v tem prekatu, pregled sten in tal, pripadajočih instalacij prekata ter očistil površine.

V oktobru je v CSRAO potekala priprava tovorka, ki je vsebovala zaprti radioaktivni vir Cs-137 aktivnosti 650 GBq. Vir se je nahajal v vsebniku iz osiromašenega urana, aktivnosti 430 MBq. Tovorek je bil odpeljan na Češko na nadaljnjo obdelavo in reciklažo.

Na podlagi ugotovitev v letih 2023 in 2024 o izhajanju radona iz paketov in RAO, ki vsebujejo Ra-226, je ARAO odpadke, ki vsebujejo Ra-226, prepakiral. Nastale pakete je dodatno zatesnil z gumo. Poleg tega je bil meseca maja in junija izveden projekt prepakiranja in odvoza kapsul, ki so vsebovale 27 GBq Ra-226 v Kanado na predelavo.



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. Manjši delež prispevka radonskega toka iz naravnega okolja ni mogoče natančno ovrednotiti. Na podlagi opravljenih meritev smo ocenili, da je bila povprečna letna hitrost izpuščanja radona iz skladišča okoli 9 Bq/s. Meritve radona v letu 2024 so pokazale izboljšanje stanja glede na preteklo leto zaradi različnih aktivnosti na odpadkih, ki vsebujejo radij. V letih 2023 in 2024 je ARAO odpadke, ki so bili radonski vir, prepakiral. Nastale pakete je dodatno zatesnil z gumo. Poleg tega je bil izveden projekt prepakiranja in odvoza kapsul, ki so vsebovale Ra-226 v Kanado na predelavo. Skupni povprečni letni izpust radona v letu 2024 ocenjujemo na okoli 0,28 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 nismo zaznali Am-241 v podzemnem rezervoarju, kjer se zbirajo odpadne vode iz umivalnice in kondenzat sušilne naprave. Občasno je v vzorcih prisoten, 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 tovarnih 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 $< 0,1 \mu\text{Sv}$. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Rektorskem centru, je $< 4 \mu\text{Sv}$. 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 2024.



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 2024. Nefiltrirani 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 $0,8 \text{ Bq/m}^3$, kar je blizu spodnje meje detekcije. 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, ki se občasno pojavlja v vzorcih, v tem letu ni bil zaznan. 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 2024 je bila 200 Bq/m^3 .

Nekoliko višja aktivnost K-40 in občasno v sledovih prisotna aktivnost Am-241 sta verjetno povezani s čiščenjem objekta in uporabo kopalnice, saj se ostanki 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 je v poletnem času opravila Služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnimi merilniki radona AlphaGuard in sicer v obdobju od 13. 6. 2024 do 18. 6. 2024. V zimskem času pa jih je opravila skupaj z ZVD od 20. 12. 2024 do 10. 1. 2025. Merilnika sta bila nameščena med prekatoma 3 in 4. V poletnem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli $6\,000 \text{ Bq/m}^3$ z največjo izmerjeno vrednostjo $6\,400 \text{ Bq/m}^3$ (graf 1). V zimskem obdobju je bila najvišja koncentracija nekoliko nižja okrog $5\,500 \text{ Bq/m}^3$ z največjo posamično izmerjeno vrednostjo $6\,048 \text{ Bq/m}^3$. Urna nihanja koncentracije v zimskem obdobju so bila vezana na spremembe zunanega tlaka in vremenske motnje (nestabilni vremenski pogoji). Izkušnje tudi kažejo, da je ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih običajno višja za okrog 10–20 %. Pojav je podoben kot v kraških jamah.

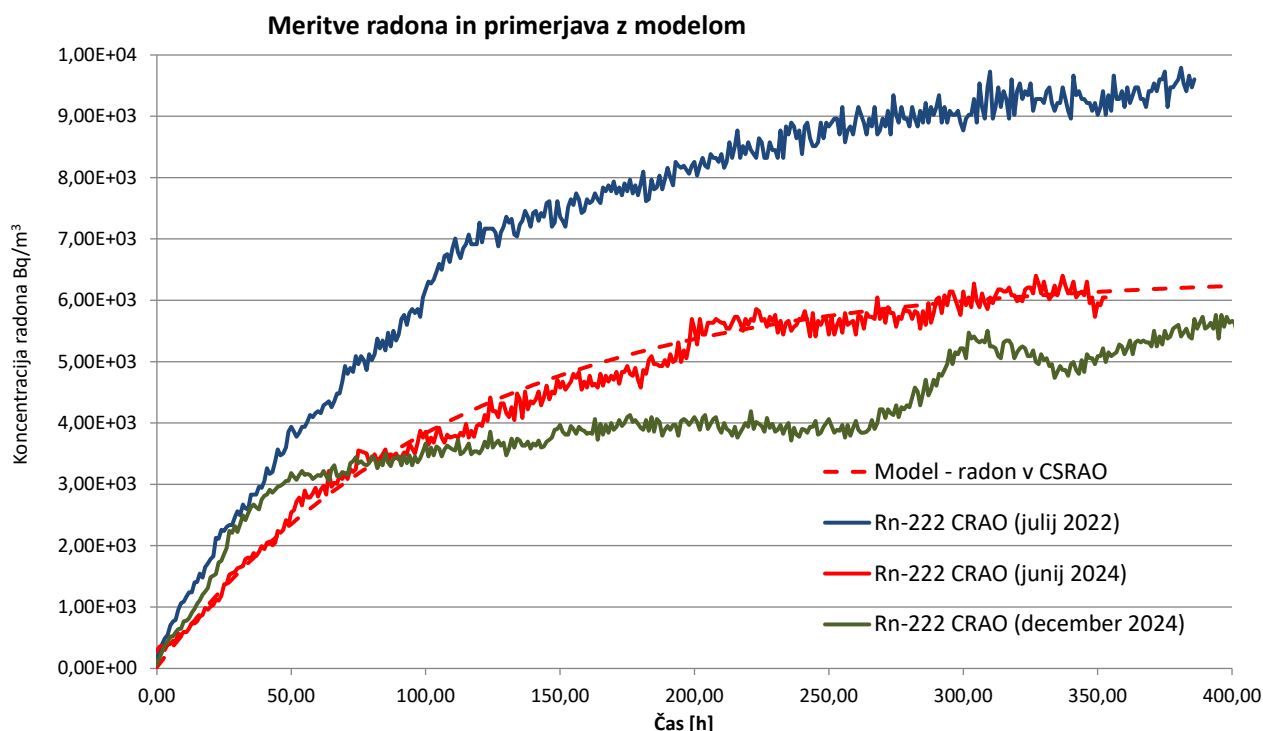
V preteklih letih se je koncentracija radona v skladiščnem prostoru izrazito spreminjala. Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputah za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okoli $20\,000 \text{ Bq/m}^3$. Visoke koncentracije



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 $6\,000\text{ Bq/m}^3$. V zadnjih desetih letih smo opazili trend ponovnega naraščanja koncentracije radona, ki je v letu 2022 dosegla koncentracije okrog $10\,000\text{ Bq/m}^3$ v poletnih mesecih. V letih 2023 in 2024, je ARAO odpadke, ki so bili radonski vir, prepakiral. Nastale pakete je dodatno zatesnil z gumo. Poleg tega je bil izveden projekt prepakiranja in odvoza kapsul, ki so vsebovale Ra-226 v Kanado na predelavo. Zaradi tega je bila v letu 2024 koncentracija radona ponovno okrog $6\,000\text{ Bq/m}^3$ v poletnih mesecih.

Kot smo že omenili, radon izhaja iz odpadkov, ki vsebujejo radioaktivne elemente uranovega razpadnega niza (z radijem Ra-226 kontaminirani odpadki). Manjši del radona, ki ga ne moremo ovrednotiti, je tudi posledica prehajanja radona v prostor skozi stene in talno ploščo. Ponovne nižje koncentracije radona v skladišču potrjujejo našo domnevo, da so povišane koncentracije lahko povezane le s povečanim virom radona iz radioaktivnih odpadkov (novi 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 filterih.



Graf 1: Rezultati meritev spreminjanja koncentracije radona v CSRAO po ustavitvi prezračevanja, izmerjene v poletnem obdobju v letih 2022 in 2024. Na grafu je tudi krivulja, ki jo dobimo s prilaganjem modelskih parametrov na realne meritve.



2.4 MERITVE V OKOLJU

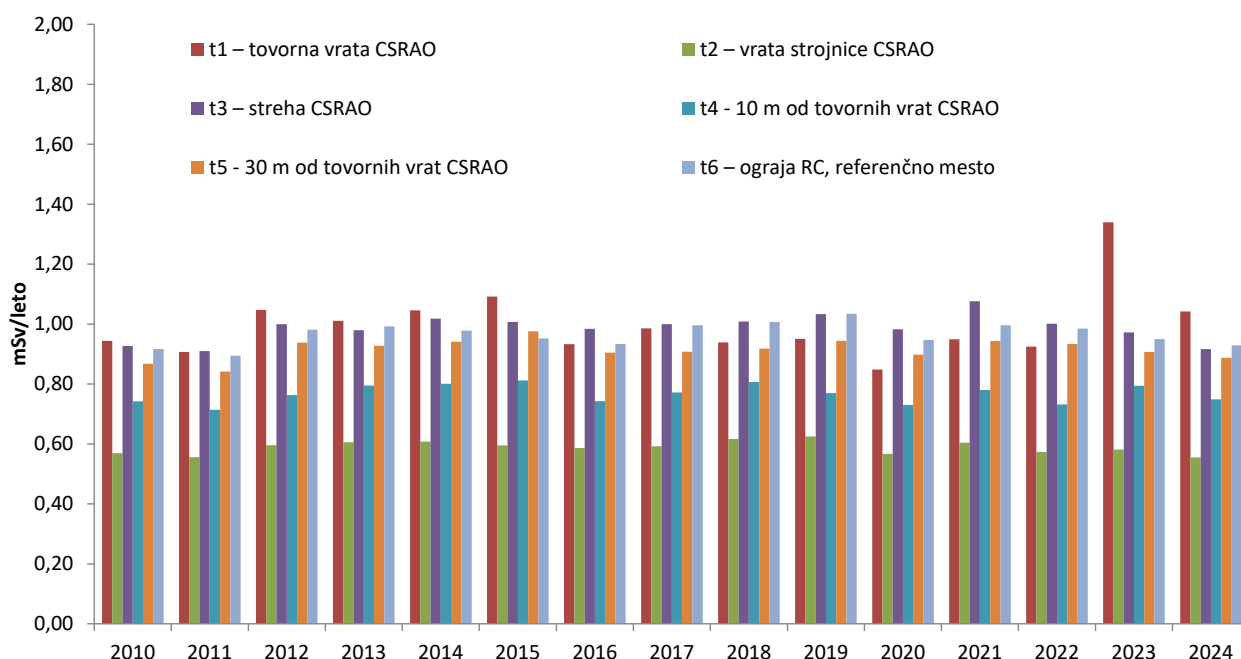
2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

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.

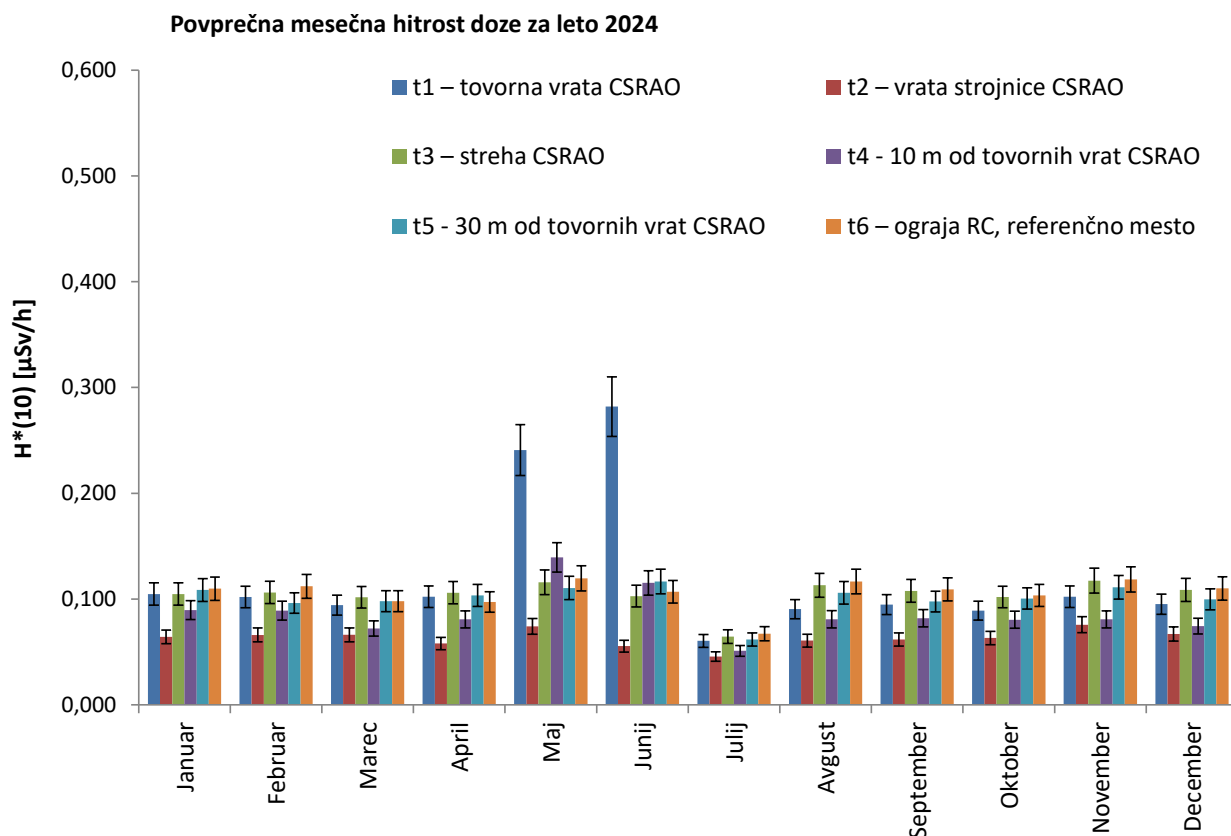
Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze $H^*(10)$) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila malo višja 1,04 mSv (še višja 1,34 mSv je bila v letu 2023). Na strehi objekta je bila izmerjena letna doza običajna 0,92 mSv (0,97 mSv v letu 2023). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje 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 0,75 mSv (0,79 mSv v letu 2023) in je bila nižja kot na referenčni lokaciji na ograji RC 0,93 mSv (0,95 mSv v letu 2023).

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.



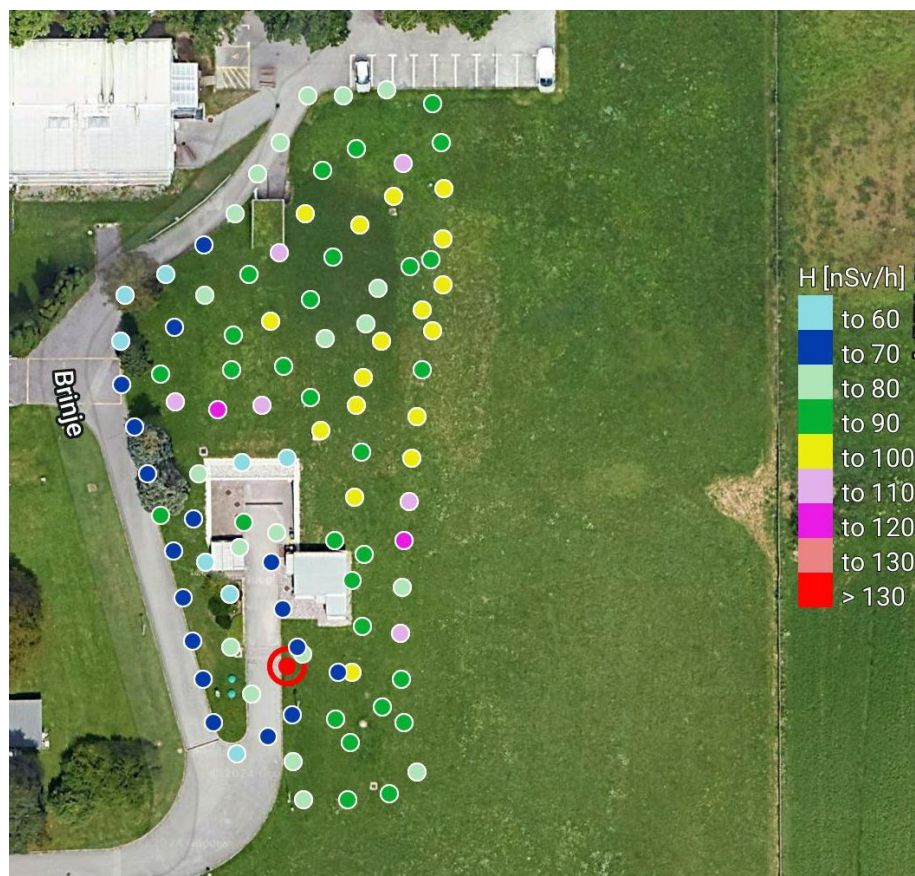
Graf 2: Meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letni trendi)



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 $0,28 \mu\text{Sv/h}$ na tovarnih vratih skladišča. Povišano povprečno hitrost doze smo izmerili v maju in juniju. Razlog za povišane hitrosti doze so bile aktivnosti delavcev ARAO na sodih v okviru prepakiranja Ra-226. Pakete so dodatno zatesnili z gumo. Izveden je bil tudi odvoza kapsul, ki so vsebovale Ra-226, v Kanado na predelavo. 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.

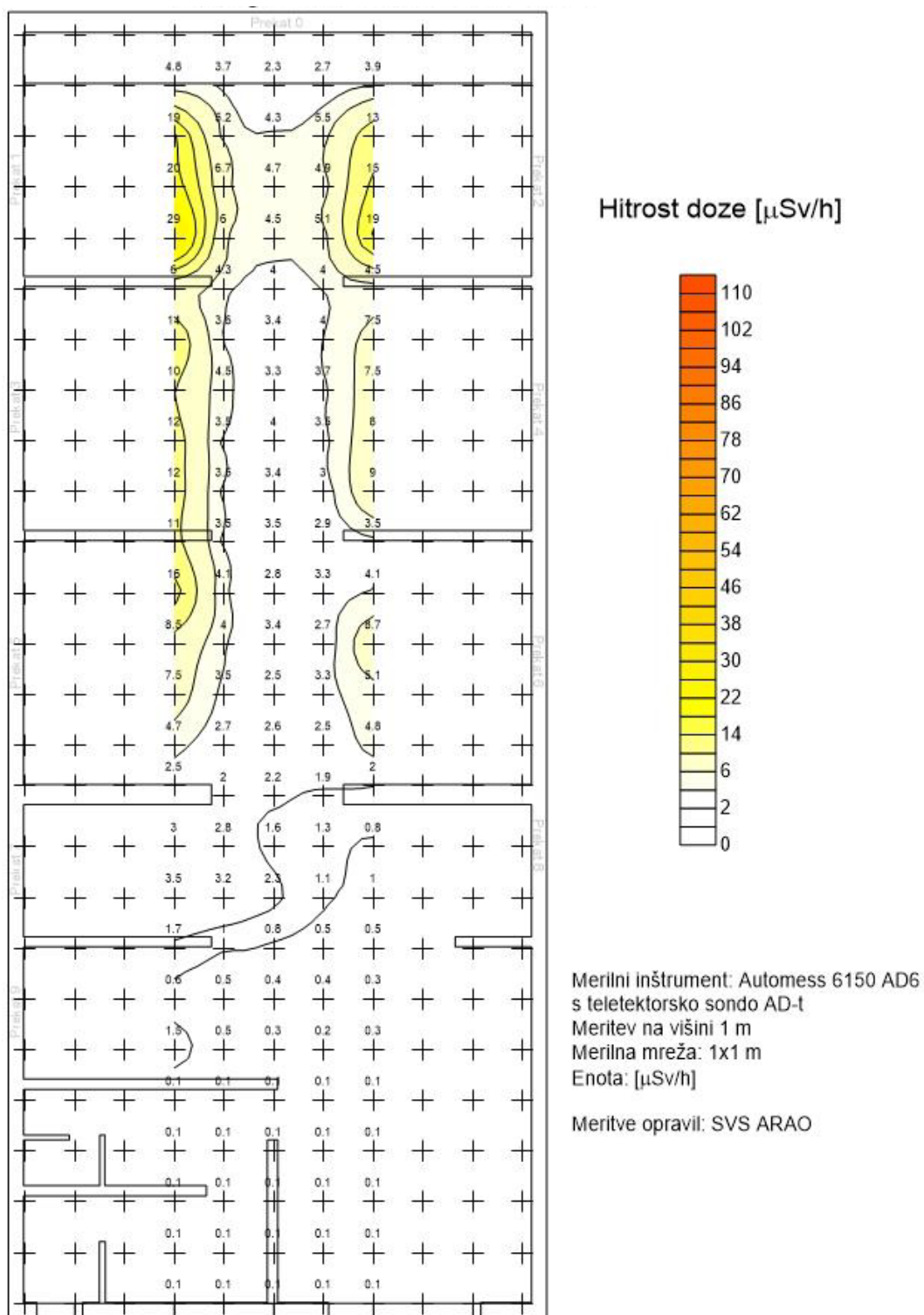
V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile od $0,049 \mu\text{Sv/h}$ do največ $0,115 \mu\text{Sv/h}$. 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 (julij 2024)

Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze na transportni poti v CSRAO. Nivoji zunanega 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 ob bolj aktivnih vskladiščenih sodih so do okrog $200 \mu Sv/h$. Prispevek sevanja zaradi nevtronskih virov je precej nižji. Na transportni poti na severnem delu skladišča so hitrosti doze do okrog $5 \mu Sv/h$. Na transportni poti ob vratih padejo hitrosti doze na okrog $0,1 \mu Sv/h$.

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 $0,5 \mu Sv/h$). Nizke hitrosti doze v okolici skladišča so posledica optimalne razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanega sevanja na okolje. Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča v letu 2024 iz vidika zunanega sevanja zelo nizek ali zanemarljiv.



Slika 3: Izmerjene vrednosti hitrosti doze gama ($\mu\text{Sv/h}$) dne 8. 8. 2024 na transportni poti s prenosnim merilnikom v CSRAO.



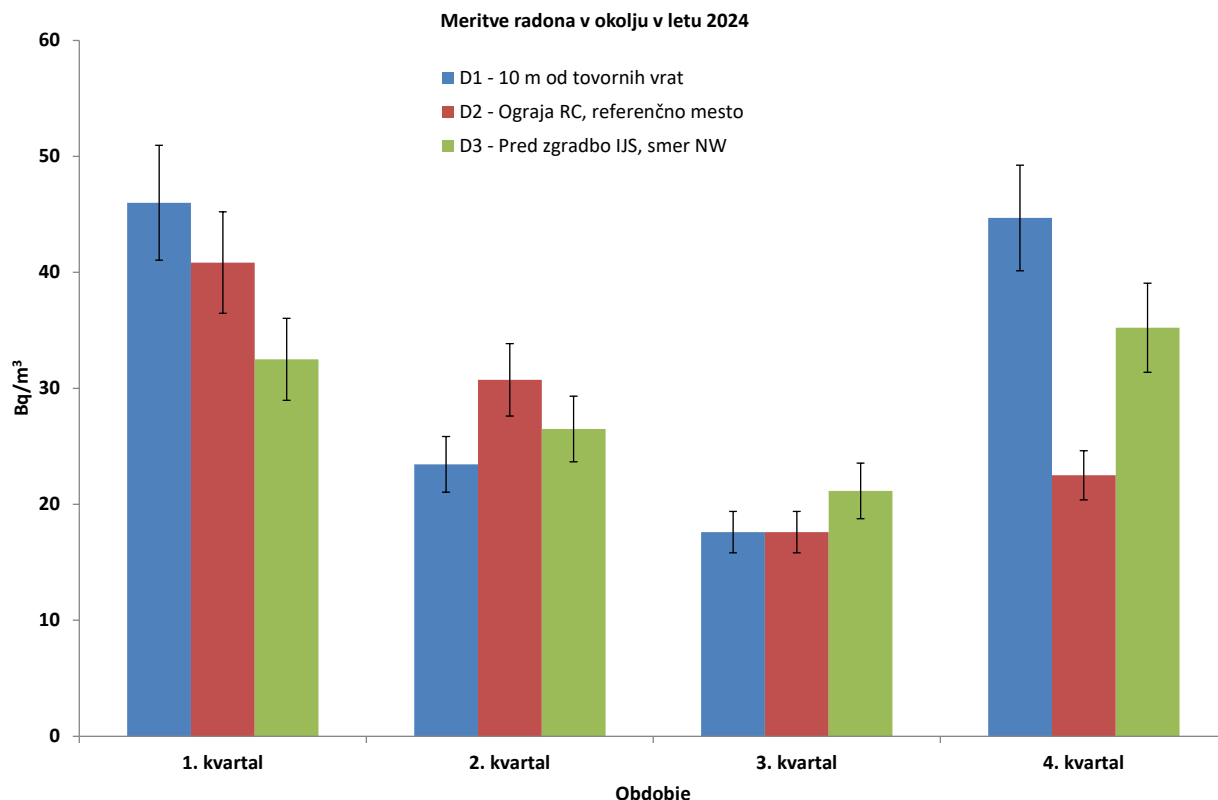
2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

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):

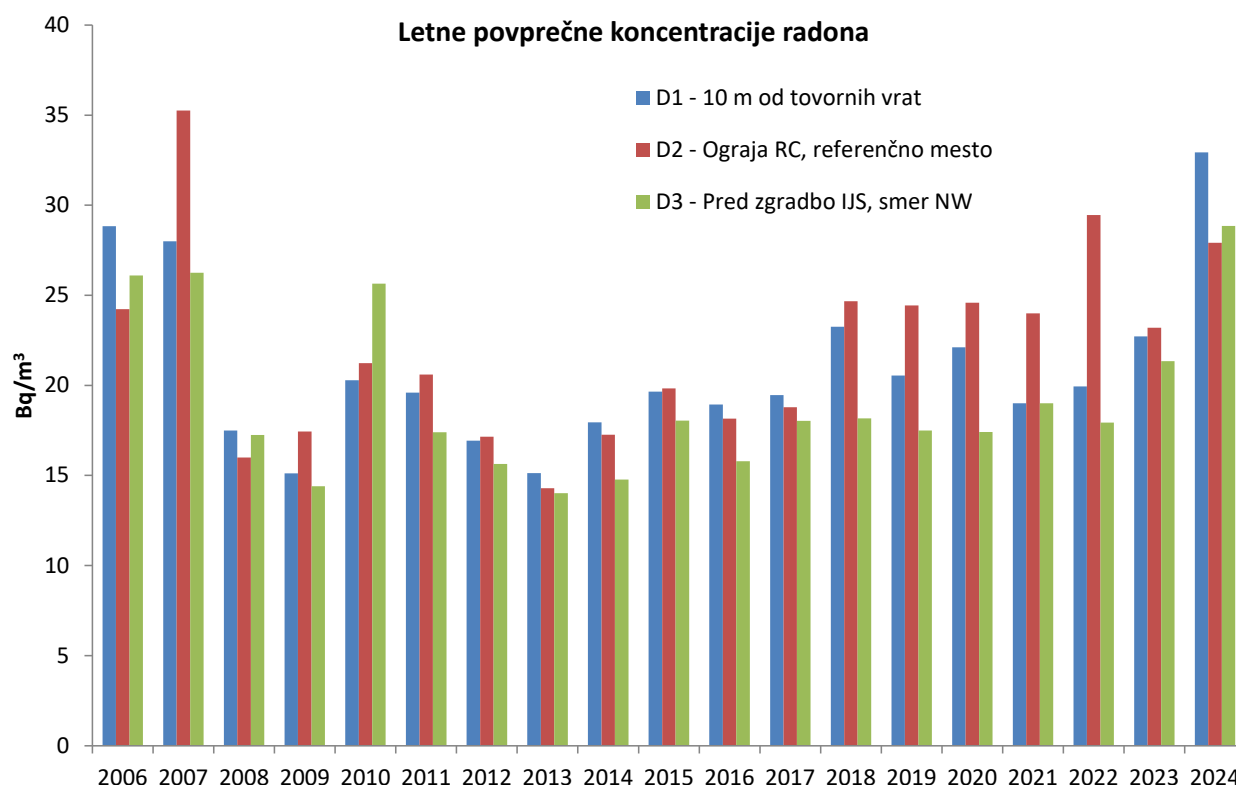
- ob pomožnem objektu, 10 m od tovornih vrat (lokacija – D1)
- na ograji RC IJS, referenčno mesto (lokacija – D2)
- pred zgradbo IJS, smer SZ (lokacija – D3)

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. Povprečne letne koncentracije so izračunane iz meritev v štirih kvartalih.

Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji 10 m od tovornih vrat (D1) je bila $(33 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$, kar je malo višje kot v predhodnem letu. Na lokaciji pred zgradbo IJS (D3) je bila povprečna koncentracija $(29 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$ in na referenčnem mestu (D2) je bila $(28 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$. Večino let smo opazili 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. V zimskem kvartalu je lahko veliko zmrzali in snežne pokrivke, ki zadrži radon. Tako pride do efekta, kjer je koncentracija na referenčni lokaciji D2 lahko nižja kot na ostalih lokacijah. 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 kvartalih)



Graf 5: Povprečne letne koncentracije radona v okolici objekta CSRAO.

Na splošno so povprečne letne koncentracije radona v neposredni okolici objekta CSRAO takšne, kot jih običajno izmerimo drugod v Sloveniji – okrog 20 Bq/m³ (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)

Nefiltrirani vzorci vode podtalnice (~50 L) 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. Vzorci so bili analizirani po izparevanju (koncentriranju) in homogenizaciji. 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 južno od pomožnega objekta. V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile opravljene tudi primerjalne meritve in-situ med ARAO in IJS (ELME) na eni lokaciji.

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.

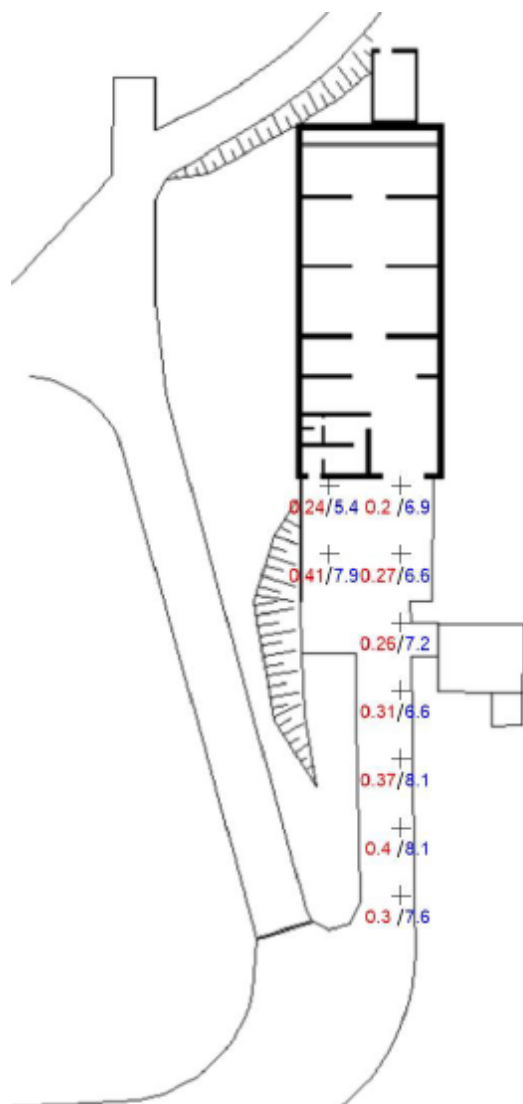
ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži (slika 5). Rezultati meritev kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2024, 09-01-002/JŠ/25-SVS-01). Na asfaltnih površinah je bilo zaznano le običajno naravno ozadje (5 s^{-1} – 8 s^{-1} sevanja 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 620 Bq/m^2 . Običajne izmerjene aktivnosti se gibljejo okoli 700 Bq/m^2 . Aktivnost berilija je predvsem odvisna od kozmičnega sevanja, mešanja zračnih mas in izpiranja atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

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



Merilni inštrument: Berthold LB124 I

Meritev: kontaktna

Merilna mreža: 5 m x 5 m

Merjenje: kontaminacija tal alfa in beta/gama

Enota: cps

Ozadje alfa: 0,35 cps

Ozadje beta/gama: 6,7 cps

Meritev opravljena dne: 23. 7. 2024

Meritve opravil: SVS ARAO

Projekt: 09-01-002

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 okrog $9 \text{ Bq/s} \pm 30 \%$. Upoštevali smo povprečno vrednost iz poletnih in zimskih meritev. Ocenjena povprečna hitrost izpuščanja je nižja kot v preteklem letu in je najverjetneje posledica prepakiranja in odvoza paketov, ki so vsebovali radij.

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, 2008 in 2024).

Neodvisno smo grobo ovrednotili tudi skupni radonski tok v skladišče $F_{\text{skladišče}}$ [Bq/s] ob izklopljeni ventilaciji. Izračunali smo ga iz prvih 10 ur meritev koncentracije radona po izklopu ventilacije, ko lahko predpostavimo linearno naraščanje koncentracije. Ocena radonskega toka v skladišče je zelo odvisna od stabilnosti vremenskih pogojev. Radonski tok se oceni iz izraza:

$$F_{\text{skladišče}} = \frac{k \cdot V}{3600}$$

k začetna strmina krivulje naraščanja koncentracije v odvisnosti od časa [Bq/m³/h];
 V ocenjena prostornina skladišča 750 m³.

Pri tem izračunu sicer zanemarimo vpliv puščanje skladišča in radioaktivni razpad radona, zato je sam izračun poenostavljen. Ocenjen radonski tok v skladišče je višji od ocenjenega izpusta. V zadnjih desetih letih je bilo razmerje med radonskim tokom v skladišče in izpusti v okolje v povprečju okrog 1,4. Model predpostavlja, da del radona v skladišču razpade, preden pride v okolje in da sam skladiščni prostor ni hermetično zaprt. Predlagamo, da se v prihodnje empirično uporablja poenostavljen model:

$$IZPUST \text{ V OKOLJE} = F_{\text{skladišče}}/1,4$$

Obstajajo precejšnje negotovosti pri vrednotenju izpustov in radonskega toka v skladišče, ker na meritve izrazito vplivajo tudi zunanji vremenski pogoji (tlak, temperatura) in letni časi.

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2024 ocenjujemo na približno **0,28 GBq/leto**, kar je manj kot v predhodnem letu (0,56 GBq/leto) in tudi precej nižje od obratovalnega dovoljenja



6,3 GBq/leto. Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 450 m² (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m²s).

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]	Ocenjen radonski tok v skladišče / Ocenjen izpust
Po rekonstrukciji skladišča in pred prepakiranjem RAO leta 2007	33	44*	1,3
V letu 2015	6	9*	1,5
V letu 2016	7	9*	1,3
V letu 2017	8	11*	1,4
V letu 2018	9	12*	1,4
V letu 2019	11	16*	1,4
V letu 2020	10	12*	1,2
V letu 2021	13	17*	1,3
V letu 2022	12	17*	1,4
V letu 2023	18	26**	1,4
V letu 2024 po odvozu in prepakiranju RAO	9	11*	1,2

* Povprečje letne in zimske meritve

** Samo zimska meritev

Prispevek k povišanju koncentracije radona v okolici CSRAO zaradi izpustov smo ocenili z Gaussovim 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 0,5 Bq/m³ nad ozadjem (običajno ozadje je okoli 20 Bq/m³).

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od objekta. Upoštevali smo izpust 8,8 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
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³):	7,1	0,9	0,4	0,1
Disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³):	15,9	1,8	0,6	0,2



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. Am-241, ki je posledica dela v skladišču, se občasno pojavlja v zbiralniku. V tem letu ga v odpadnih vodah nismo zaznali. 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 8,8 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)/m³.

Podobni dozni faktor DF_{EEC} radonovih potomcev smo upoštevali za pisarniškega delavca na IJS - $6,1 \times 10^{-9}$ Sv/(Bq·ura)/m³ (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)/m³. 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 zunanjega sevanja iz skladišča na razdalji 10 m od CSRAO nemerljiv. Na referenčni lokaciji je namreč letna doza zaradi zunanjega 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	0,59	0,02	1,24
Radonovi potomci (µSv/leto) - ICRP 137	1,25	0,05	3,38
Zunanje sevanje (µSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza (µSv/leto)	< 2	< 0,1	< 4



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 ×

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 × 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 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 odpadne vode iz podzemnega zbiralnika. Meritve je opravil IJS.

Oznaka vzorca	RA24-VN1-61 5. 6. 2024	RA24-VN1-91 24. 9. 2024
RADIONUKLID	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	3,8E+00 ± 7,7E-01	2,1E+00 ± 3,8E-01
K-40	2,0E+02 ± 6,8E+00	1,1E+02 ± 3,8E+00
Cs-137	8,4E-01 ± 1,9E-01	8,4E-02 ± 5,9E-02
Pb-210	6,1E+00 ± 3,1E+00	2,9E+00 ± 5,0E-01
Ra-226	8,3E-01 ± 4,5E-01	2,6E-01 ± 1,7E-01
Ra-228	1,9E+00 ± 7,6E-01	3,3E-01 ± 2,0E-01
Th-228	1,8E-01 ± 1,6E-01	2,3E-01 ± 8,0E-02
U-238	2,5E+00 ± 1,6E+00	5,8E+00 ± 4,2E-01
Am-241	–	–

4.2.2 Zunanje sevanje

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

Datum	Mesec	t1 – tovorna vrata CSRAO	t2 – vrata strojnice CSRAO	t3 – streha CSRAO	t4 – 10 m od tovornih vrat CSRAO	t5 – 30 m od tovornih vrat CSRAO	t6 – na ograji RC, referenčno mesto
5. 1. - 7. 2. 2024	Januar	0,083	0,051	0,083	0,071	0,086	0,087
7. 2. - 7. 3. 2024	Februar	0,071	0,046	0,074	0,062	0,067	0,078
7. 3. - 10. 4. 2024	Marec	0,077	0,054	0,083	0,059	0,080	0,080
10. 4. - 13. 5. 2024	April	0,081	0,046	0,084	0,064	0,082	0,077
13. 5. - 5. 6. 2024	Maj	0,133	0,041	0,064	0,077	0,061	0,066
5. 6. - 5. 7. 2024	Junij	0,203	0,040	0,074	0,083	0,084	0,077
5. 7. - 5. 8. 2024	Julij	0,045	0,034	0,048	0,038	0,046	0,050
5. 8. - 9. 9. 2024	Avgust	0,076	0,051	0,095	0,068	0,089	0,098
9. 9. - 8. 10. 2024	September	0,066	0,043	0,075	0,057	0,068	0,076
8. 10. - 6. 11. 2024	Oktober	0,062	0,044	0,071	0,056	0,070	0,072
6. 11. - 9. 12. 2024	November	0,081	0,060	0,093	0,064	0,088	0,094
9. 12. 2024 - 6. 1. 2025	December	0,064	0,045	0,073	0,050	0,067	0,074
Letna doza (mSv):		1,04	0,56	0,92	0,75	0,89	0,93



4.2.3 Zrak

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

2024		Koncentracija (Bq/m³)			
Lokacija	3. 1. - 29. 3. Uteženo povprečje	29. 3. - 28. 6. Uteženo povprečje	28. 6. - 4. 10. Uteženo povprečje	4. 10. - 31. 12. Uteženo povprečje	
d1 – ob pomožnem objektu	48 ± 7 46 ± 5	22 ± 3 23 ± 2	16 ± 2 18 ± 2	47 ± 7 45 ± 5	
	44 ± 7	26 ± 4	24 ± 4	43 ± 6	
d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto)	63 ± 9 41 ± 4	35 ± 5 31 ± 3	16 ± 2 18 ± 2	22 ± 3 23 ± 2	
	34 ± 5	28 ± 4	24 ± 4	23 ± 3	
d3 – SZ rob CSRAO ob stavbi IJS	33 ± 5 33 ± 4	28 ± 4 27 ± 3	25 ± 4 21 ± 2	34 ± 5 35 ± 4	
	32 ± 5	25 ± 4	19 ± 3	37 ± 6	

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	RA24-VRP1-61 P–1 piezometer zgornji BSP-1 (severno od CSRAO) 5. 6. 2024	RA24-VRP2-61 P–2 piezometer spodnji BSP-2 (južno od CSRAO) 5. 6. 2024
	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
RADIONUKLID		
Be-7	6,2E+00 ± 1,0E+00	-
K-40	3,1E+01 ± 2,1E+00	3,6E+01 ± 2,8E+00
Pb-210	6,7E+00 ± 9,4E–01	3,9E+00 ± 2,6E–01
Ra-226	2,0E+00 ± 3,4E–01	1,4E+00 ± 6,2E–01
Ra-228	1,0E+00 ± 2,6E–01	6,6E–01 ± 3,6E–01
Th-228	4,3E–01 ± 8,3E–02	< 5,1E–01
U-238	3,7E+00 ± 7,8E–01	3,6E+00 ± 2,0E+00



4.2.5 Meritve kontaminacije tal

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

Lokacija	Travnik, J od pomožnega objekta	
	HPGe – IJS (ELME)	3×3" NaI(Tl) – ARAO
Datum meritev	14. 5. 2024	14. 5. 2024
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	8 ± 1	–
K-40	300 ± 60	298 ± 89
Cs-137	17 ± 4	26 ± 5
Ra-226 (Bi-214)	28 ± 6	28 ± 9
Ra-228	29 ± 6	29 ± 9
Th-228	31 ± 6	28 ± 8
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m ²)	
Be-7	255 ± 107	–
Cs-137	583 ± 123	472 ± 142

4.2.6 Talni used

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

Oznaka vzorca	RA24-PV1-M1 5. 1. 2024–6. 1. 2025
RADIONUKLID	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	$6,2\text{E}+02 \pm 3,2\text{E}+01$
K-40	$2,8\text{E}+00 \pm 4,9\text{E}-01$
Cs-137	$1,3\text{E}-01 \pm 3,4\text{E}-02$
Pb-210	$7,7\text{E}+01 \pm 3,9\text{E}+00$
Ra-226	$6,1\text{E}-01 \pm 4,0\text{E}-01$
Ra-228	$1,4\text{E}-01 \pm 1,0\text{E}-01$
Th-228	$< 1,8\text{E}-01$
U-238	$< 8,7\text{E}-01$



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/m³.

ZEMLJA

- Aktivnost vzorcev zemlje se podaja v Bq/kg "osušene zemlje" in v Bq/m². 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/m³.
- 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/m³: $F = EEC / Konc. Rn-222$.



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 ³
velikost vzorca	0,05 m ³
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 2024 izvedene primerjave meritev aktivnosti sevalcev gama v odpadni vodi iz podzemnega rezervoarja CSRAO. Primerjali smo rezultate meritev ZVD in IJS v mesecu septembru (Tabela 11).

IJS in ZVD sta ločeno vzorčila vodo (~50 L) iz rezervoarja. Voda se ni filtrirala. Vzorci so bili merjeni po izparevanju (koncentriranju) v ločenih laboratorijih.

Tabela 11: Primerjalne meritve aktivnosti odpadne vode med IJS in ZVD. Merske negotovosti so poročane s faktorjem pokritja $k=1$.

RADIONUKLID	IJS RA24-VN1-91 Vzorčeno 24. 9. 2024	ZVD RV3780924 Vzorčeno 24. 9. 2024	M_{IJS}/M_{ZVD}	u-test
	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)		
Be-7	2,1E+00 ± 3,8E-01	1,8E+01 ± 1,7E+00	0,12	9,13
K-40	1,1E+02 ± 3,8E+00	8,0E+01 ± 5,0E+00	1,38	4,78
Cs-137	8,4E-02 ± 5,9E-02	Ni zaznan	–	–
Pb-210	2,9E+00 ± 5,0E-01	1,45E+01 ± 2,1E+00	0,20	5,37
Ra-226	2,6E-01 ± 1,7E-01	< 2,6E-00	–	–
Ra-228	3,3E-01 ± 2,0E-01	Ni zaznan	–	–
Th-228	2,3E-01 ± 8,0E-02	< 2,7E-00	–	–
U-238	5,8E+00 ± 4,2E-01	Ni zaznan	–	–
Am-241	Ni zaznan	Ni zaznan	–	–

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 $u < 2$

kjer sta M in u meritev in negotovost meritve ZVD in IJS. Ujemanje meritev ni bilo zadovoljivo, saj je bilo najmanjše odstopanje pri K-40 38 % (u-test 4,78). Ostala odstopanja so še bistveno večja. Pri Be-7 in Pb-210 je bila razlika za red velikosti. ZVD nekaterih radionuklidov ni zaznal (Cs-137, Ra-228, U-238 in Am-241) ali jih je poročal pod MDA (Ra-226 in Th-228). Am-241 ni bil zaznan v nobenem vzorcu.

Pri neujemanju meritev verjetno največ prispeva način vzorčenja. Vzorca vode sta bila ločeno odvzeta na različnih mestih v rezervoarju. Verjetno sta imela tudi različno količino suspendirane snovi. Poleg tega je bila vsebnost večine radionuklidov (razen K-40) blizu spodnje detekcijske meje.

Predlagamo, da se nizko aktivnih vzorcev ne primerja več. Odvzem vzorcev naj poteka sočasno. Pri tem naj se skupni odvzeti vzorec pred razdelitvijo na dva dela dobro premeša (homogenizira).



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-2024 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water

V letu 2024 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 sena določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in sena z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Individualna poročila smo prejeli decembra 2024. [IARMA ERAD-PT-2024, Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water, Individual Evaluation Report for Laboratory Code 14, International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom, December 2024].

IARMA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja Rel. odmik:

$$\text{Rel. odmik} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{Value_{ref}} \cdot 100 \%$$

Če je $|\text{Rel. odmik}| \leq 20$, je rezultat sprejemljiv, če je $|\text{Rel. odmik}| > 30$, pa ni sprejemljiv. V vmesnem območju je sprejemljiv z opozorilom.

Poleg tega so informativno uporabili tudi Z-preskus, ki je definiran kot:

$$Z\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{\sigma}$$

kjer je $\sigma = 0,10 \cdot Value_{Ref}$. Rezultati so ustrezni, če je $|Z\text{-preskus}| \leq 2$.

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 sena.

Vsi rezultati so sprejemljivi.



REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-178, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2024</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2024</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	8,16 ± 0,24	8,40 ± 0,30	2,9	0,3	A
Ba-133	5,30 ± 0,15	5,20 ± 0,20	−1,9	−0,2	A
Cs-137	3,20 ± 0,10	3,14 ± 0,09	−1,9	−0,2	A
Eu-152	1,53 ± 0,05	1,60 ± 0,08	4,6	0,5	A
U-238	10,00 ± 0,90	9,50 ± 1,10	−5,0	−0,5	A
Am-241	4,59 ± 0,12	4,90 ± 0,20	6,8	0,7	A

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-179, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2024</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2024</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	9,80 ± 0,29	10,21 ± 0,40	4,1	0,4	A
Ba-133	9,29 ± 0,27	9,50 ± 0,30	2,3	0,2	A
Cs-137	8,25 ± 0,26	8,30 ± 0,30	0,6	0,1	A
Eu-152	4,50 ± 0,14	4,70 ± 0,20	4,4	0,4	A
U-238	10,00 ± 0,90	9,80 ± 1,50	−0,2	−0,2	A
Am-241	8,01 ± 0,21	8,10 ± 0,30	0,1	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-180, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2024</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2024</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	14,94 ± 0,45	15,50 ± 0,50	3,7	0,4	A
Ba-133	12,15 ± 0,36	12,30 ± 0,40	1,2	0,1	A
Cs-137	11,14 ± 0,36	11,50 ± 0,40	3,2	0,3	A
Eu-152	8,89 ± 0,27	9,40 ± 0,30	5,7	0,6	A
U-238	18,00 ± 0,90	17,40 ± 1,70	−3,3	−0,3	A
Am-241	11,94 ± 0,33	12,60 ± 0,40	5,5	0,6	A



IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-178, Hay analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2024</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2024</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
K-40	221,0 ± 5,0	263,00 ± 8,00	19,0	1,9	A
Co-60	36,20 ± 1,01	42,00 ± 1,30	18,5	1,9	A
Ba-133	10,00 ± 0,25	11,60 ± 0,40	16,0	1,6	A
Cs-137	391,00 ± 8,00	439,00 ± 14,00	12,3	1,2	A
Eu-152	9,30 ± 0,32	11,00 ± 0,40	18,3	1,8	A
U-238	14,40 ± 1,16	12,30 ± 2,00	-14,6	-1,5	A
Am-241	10,54 ± 0,33	12,40 ± 0,60	17,6	1,8	A

4.6.2 IAEA, Terrestrial Environment IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, bauxite, sediment and simulated contaminated surface samples ALMERA, IAEA, Terrestrial Environment Radiochemistry Laboratory (TERC)

Maja 2024 je Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory z IAEA razposlal 2 vzorca umetno kontaminirane vode, en vzorec boksita, en vzorec sedimenta 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 simuliranih kontaminiranih površin. V vzorcu vode št. 1 je bila določena tudi vsebnost tritija s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo. En vzorec vode in dva vzorca simuliranih kontaminiranih površin so bili kontrolni vzorci z vnaprej znano vsebnostjo radionuklidov. Končne individualne rezultate smo prejeli oktobra 2024 [IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report for Labcode No. 140 (IJS, Odsek F-2), IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Seibersdorf, oktober 2024].

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 140 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 2 ter vzorca simuliranih filtrov št. 6 in 7 so bili referenčni in so imeli vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za te vzorce.

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 ζ -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 ζ -testov smo sami določili za vse vzorce.

Od 26 poročanih rezultatov je bilo 24 sprejetih, eden je imel oznako opozorila, en pa je bil zavrnen. Opozorilo in zavrnitev se nanašata na določitev Pb-210 v vodi in boksitu. V vodi je bil rezultat previsok, ker luščenje rentgenskih črt Sm-152, v katerega razpade Eu-152, ni bilo ustrezno opravljeno. Sm-152 ima rentgenski črti $K_{\beta 1}$ in $K_{\beta 2}$ pri energijah 45,4 keV in 46,7 keV, ki se prekrivata z najmočnejšo črto žarkov gama Pb 210 (46,5 keV).

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TERC-2024-01 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2024</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2024</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ -test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Eu-152	14,8 ± 0,7	14,9 ± 0,5	0,7	0,12	5,80	A
H-3	19,5 ± 1,0	22,0 ± 0,6	12,8	2,14	5,81	A
Na-22	19,1 ± 1,0	18,6 ± 0,6	-2,6	-0,43	6,15	A
Pb-210	10,2 ± 0,9	7,1 ± 1,9	-30,4	-1,47	28,18	N
Ra-226	13,0 ± 0,7	14,0 ± 1,2	7,7	0,72	10,12	A



IAEA-TERC-2024-01 Sample 03, Sediment analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2024</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2024</i>						
IZOTOP*	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Bi-214	340,0 ± 13,0	354 ± 11	4,1	0,82	4,93	A
K-40	873,0 ± 44,0	925 ± 30	6,0	0,98	5,99	A
Pb-210	306,0 ± 17,0	318 ± 11	3,9	0,59	6,54	A
Pb-212	307,0 ± 12,0	321 ± 10	4,6	0,90	5,00	A
Pb-214	340,0 ± 13,0	366 ± 11	7,6	1,53	4,86	A
Ra-226	340,0 ± 13,0	361 ± 16	6,2	1,02	5,85	A
Ra-228	307,0 ± 17,0	309 ± 10	0,7	0,10	6,41	A
Tl-208	110,0 ± 4,0	112 ± 4	1,8	0,35	5,10	A
U-235	11,4 ± 1,0	12,7 ± 0,8	11,4	1,02	10,80	A
U-238	246,0 ± 11,0	274 ± 15	11,4	1,51	7,07	A

* Aktivnosti za Ac-228, Bi-212, Pa-234m, Th-232 in Th-234 v tem vzorcu nismo poročali. Ker je vsebnost naravnih radionuklidov v ravnovesju, je vsebnost Ac-228, Bi-212 in Th-232 enaka vsebnosti Ra-228, aktivnosti Pa-234m in Th-234 pa so enake aktivnosti U-238.

IAEA-TERC-2024-01 Sample 04, Bauxite analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2024</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2024</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Bi-214	144,00 ± 5,00	149 ± 5	3,5	0,71	4,83	A
Cs-137	2,44 ± 0,26	2,78 ± 0,11	13,9	1,20	11,37	A
Pb-210	140,00 ± 6,00	111 ± 4,5	-20,7	-3,87	5,90	W
Pb-212	130,00 ± 6,00	137 ± 4	5,4,	0,97	5,46	A
Pb-214	144,00 ± 5,00	153 ± 6	6,2	1,15	5,24	A
Ra-226	144,00 ± 5,00	166 ± 8	15,3	2,33	5,94	A
Ra-228	130,00 ± 8,00	134 ± 4	3,1	0,45	6,84	A
Tl-208	46,70 ± 1,80	48 ± 1,5	2,8	0,55	4,96	A
U-235	6,66 ± 0,58	8,2 ± 0,9	23,1	1,44	14,01	A
U-238	143,00 ± 7,00	139 ± 7	-2,8	-0,40	7,02	A

* Aktivnosti za Ac-228, Bi-212, Pa-234m, Th-232 in Th-234 v tem vzorcu nismo poročali. Ker je vsebnost naravnih radionuklidov v ravnovesju, je vsebnost Ac-228, Bi-212 in Th-232 enaka vsebnosti Ra-228, aktivnosti Pa-234m in Th-234 pa so enake aktivnosti U-238.



IAEA-TERC-2024-01 Sample 05, "Simulated contaminated surface sample" analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2024</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2024</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/filter)					
Cs-134	7,71 ± 0,39	7,52 ± 0,23	−2,5	−0,42	5,91	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 2024, ARAO 09-01-002/JŠ/25-SVS-01
- 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

<i>LMR-OP-04/07</i>	Organizacija laboratorija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti
<i>LMR-OP-05/11</i>	Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti
<i>LMR-OP-06/12</i>	Izvedba programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju



Delovna navodila

<i>LMR-DN-05/06</i>	Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod
<i>LMR-DN-06/12</i>	Priprava sušine vzorcev vode
<i>LMR-DN-08/10</i>	Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/10</i>	Označevanje vzorcev za spektrometrijo alfa, beta in gama
<i>LMR-DN-10/14</i>	Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju
<i>LMR-DN-11/11</i>	Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG
<i>LMR-DN-27/07</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-06/04</i>	Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov
<i>LMR-KP-08/02</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 Alpha
<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-01/05</i>	Opis del in nalog osebja v <i>Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo</i>
---------------------	--

Delovna navodila

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

Kontrolni postopki

<i>TLD-KP-03/06</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)