

IJS delovno poročilo
IJS-DP-14291
Ljubljana, februar 2023

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2022



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 2022

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-14291

Štev. projekta ARAO: 09-01-002
Štev. pogodbe ARAO: ARAO P008/2022

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-14291
februar 2023

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2022

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 2022 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na $< 0,1 \mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-14291
February 2023

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2022

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 2022 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 Radio-Chemistry Laboratory, Avstrija	32
4.6.3	IAEA, Environmental Laboratories, Monaco	34
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 2022. 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*. LMR je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji (št. akreditacijske listine LP-022). Meritve doze zunanjšega sevanja TLD so opravili sodelavci *Laboratorija za termoluminiscenčno dozimetrijo*, ki deluje v okviru *Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na IJS*. *Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo* je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje osebne in okoljske dozimetrije. Z akreditacijsko listino št. LP-022 z dne 4. 7. 2005 laboratoriju Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda *SIST EN ISO/IEC 17025* pri tej dejavnosti.

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

V letu 2022 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 januarja je ARAO opravil izpraznitev prekata št. 9, v avgustu pa tudi prekata št. 3. Izvedel je pregled stanja vseh skladiščenih paketov v tem prekatu, pregled sten in tal, pripadajočih instalacij prekata ter očistil površine.

V mesecu aprilu in maju je v skladiščnem prostoru CSRAO potekala priprava na odvoz skladiščenih ionizacijskih javljalnikov požara (JAP) z virom sevanja Am-241 za recikliranje v tujino. Odvoz je bil opravljen meseca junija. V mesecu juliju je bil izveden pregled vsebine paketov, kjer je možnost nadaljnje obdelave in recikliranja Ra-226 v tujini. Istočasno in v zvezi s predmetnim pregledom je bil opravljen tudi pregled vsebine nekaterih paketov RAO, ki vsebujejo Am-241 in so bili pripravljene v okviru projekta Phare 2005. V mesecu avgustu je bila izvedena nova hidroizolacija po celotni vzhodni steni skladišča CSRAO. Med tem časom ventilacija skladišča ni obratovala in je bil vstop v sam skladiščni prostor omejen.

V novembru so bile opravljene meritve VLG paketov, ki izhajajo iz projektov sortiranja RAO Phare 2005, predvsem ostankov ohišij JAP in nekaj operativnih odpadkov. Na izbranih paketih je bil opravljen tudi vizualni pregled zunanje embalaže in oznak ter kontrolne meritve hitrosti doz zunanjšega sevanja gama. Paketi, kjer je bila odkrita povišana prisotnost Am-241, bodo ponovno sortirani v prostorih OVC v letu 2023.



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 12 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 2022 ocenjujemo na okoli 0,38 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 daleč pod dopustno mejo prisotnost Am-241. 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 $< 0,1 \mu\text{Sv}$. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Rektorskem centru, je $< 5 \mu\text{Sv}$. 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 2022.



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 trikrat v 2022. 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 v povprečju $0,3 \text{ Bq/m}^3$. 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 jesenskem vzorcu vode (izmerjena aktivnost okrog $0,5 \text{ Bq/m}^3$). 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 2022 je bila 420 Bq/m^3 .

Nekoliko višja aktivnost K-40 in v sledovih prisotna aktivnost Am-241 je verjetno povezana z čiščenjem objekta, saj se ostanki čiščenja spirajo v podzemni zbiralnik.

2.3.2 ZRAK (radon v skladišču)

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

Meritve radona sta vzporedno opravila ZVD in Služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnimi merilniki radona AlphaGuard in sicer v poletnem obdobju od 24. 6. 2022 do 11. 7. 2022 ter v zimskem obdobju od 22. 12. 2022 do 6. 1. 2023. Merilnika sta bil nameščena med prekatoma 3 in 4.

V zimskem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli $8\,000 \text{ Bq/m}^3$ z največjo izmerjeno vrednostjo $8\,144 \text{ Bq/m}^3$ (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih je bila višja in sicer okoli $9\,500 \text{ Bq/m}^3$ z največjo izmerjeno vrednostjo $9\,792 \text{ Bq/m}^3$. Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanega tlaka in vremenske motnje. V poletnem obdobju pa so bile vremenski pogoji zelo dobri za izvedbo meritev. V splošnem je trend, da so višje koncentracije v poletnih mesecih, kot v zimskih, kar je podobno kot v kraških jamah.

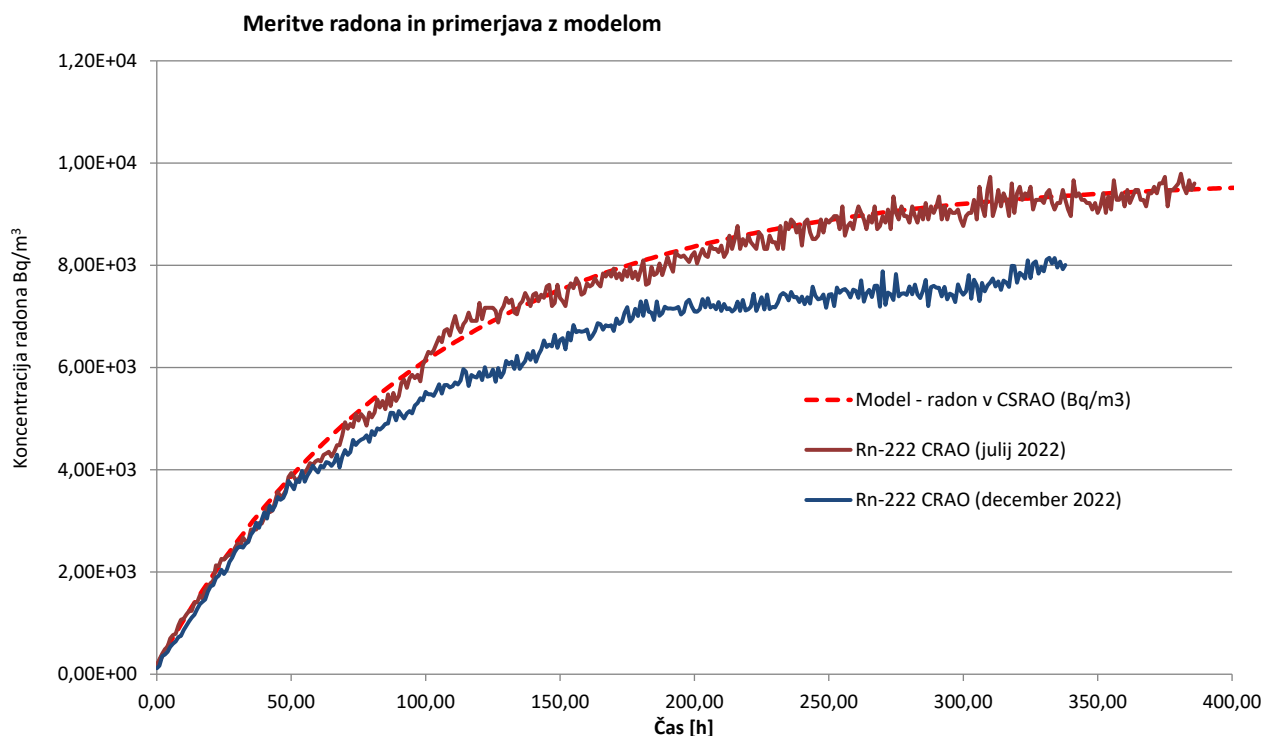
V preteklih letih se je koncentracija radona v skladiščnem prostoru izrazito spreminjala. Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputih za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okoli $20\,000 \text{ Bq/m}^3$. Visoke koncentracije radona 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 $10\,000\text{ Bq/m}^3$.

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) in v zunanjem jašku pred skladiščem. Zunanji jašek pred skladiščem je povezan s predprostorom skladišča. Maksimalna izmerjena povprečna koncentracija (obdobje treh mesecev) v notranjem jašku je bila okrog 4600 Bq/m^3 , kar je primerljivo z običajno koncentracijo radona v skladišču, kadar je skladišče nekaj 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. Omenjene dodatne meritve zaenkrat potrjujejo našo domnevo, da so povišane koncentracije povezane s povečanim virom radona iz radioaktivnih odpadkov (novih radioaktivni odpadki ali degradacije stare embalaže). Predlagamo, da ARAO poskuša ugotoviti kateri RAO predstavlja največji radonski vir skladišča. To je mogoče ugotoviti z aktivnimi meritvami radona v sodu površniku, v katerega predhodno vložimo potencialno problematične pakete. Na ta način se oceni radonski tok iz posameznega paketa.

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



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

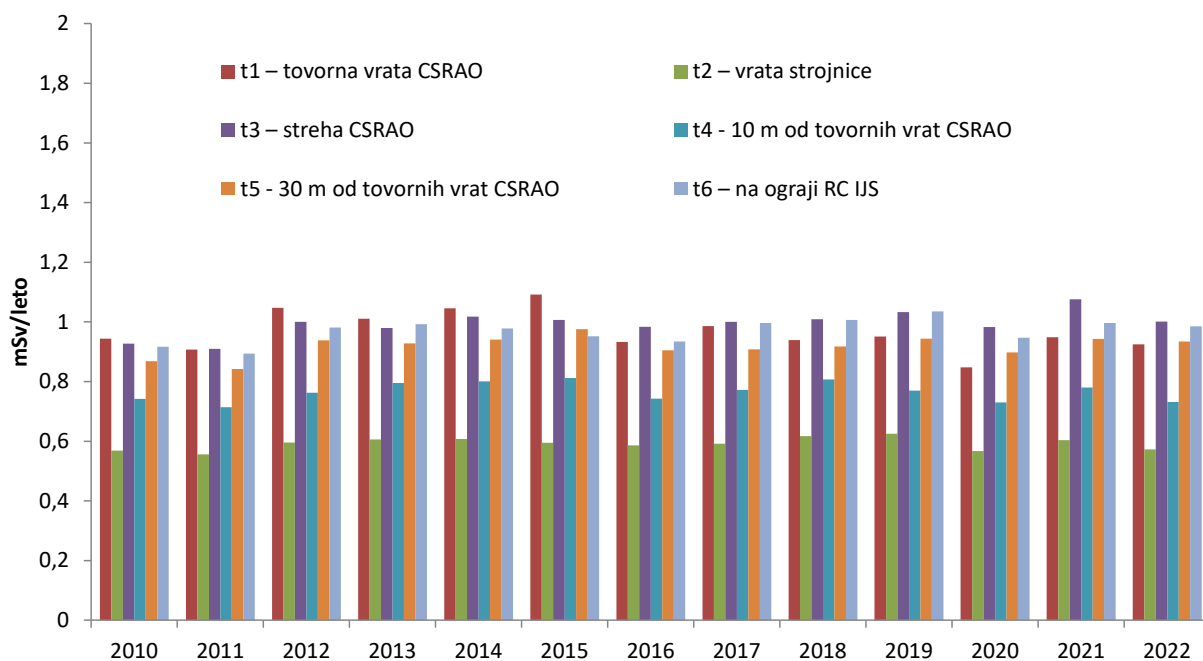
2.4 MERITVE V OKOLJU

2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

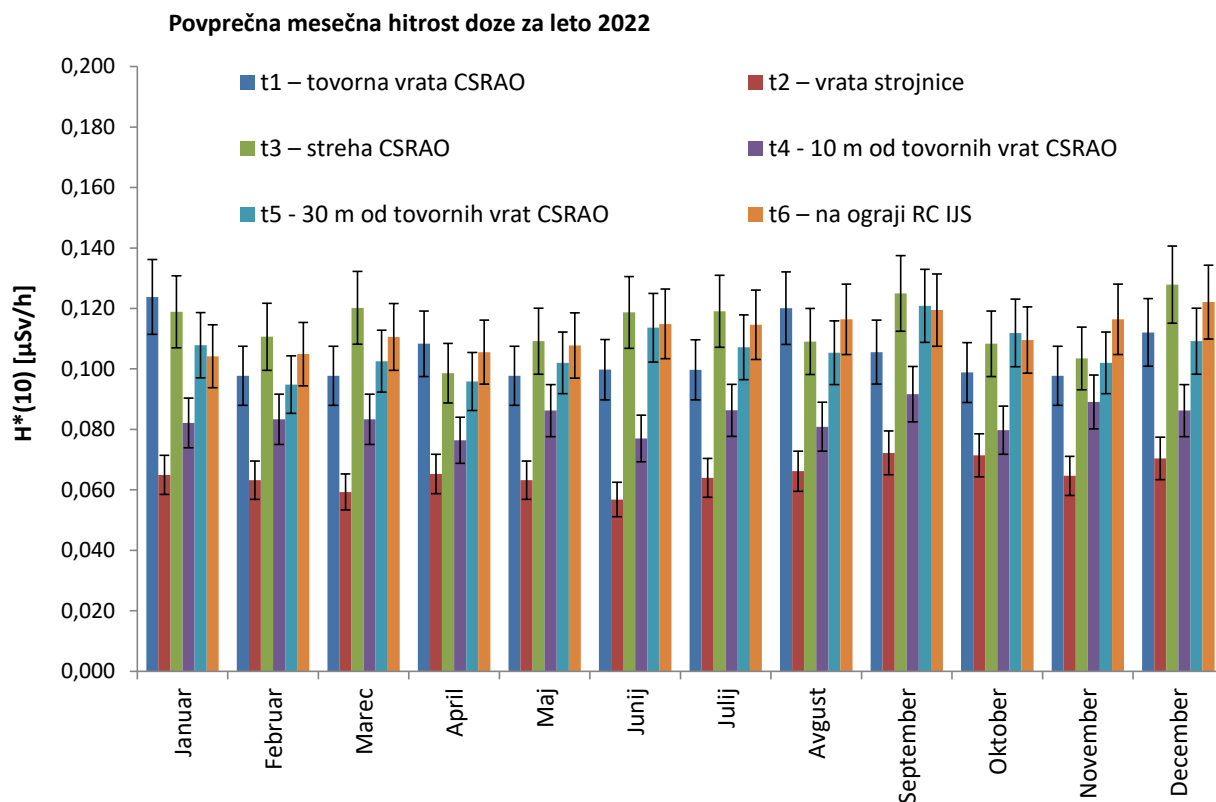
V okviru nadzora se izvajajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri na petih lokacijah in sicer na vratih skladišča, na vratih strojnice, nad objektom CSRAO, 10 m od tovornih vrat CSRAO in 30 m od tovornih vrat CSRAO. TL dozimetri se menjavajo enkrat mesečno. Dodatno se izvajajo meritve tudi na referenčnem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

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze $H^*(10)$) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,93 mSv (0,95 mSv v letu 2021), nekoliko višja pa na strehi 1,0 mSv CSRAO (1,08 mSv v letu 2021). 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 0,73 mSv (0,78 mSv v letu 2021) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 0,99 mSv (1,0 mSv v letu 2021).

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 zunanje sevanja s TLD okrog skladišča (letni trendi)

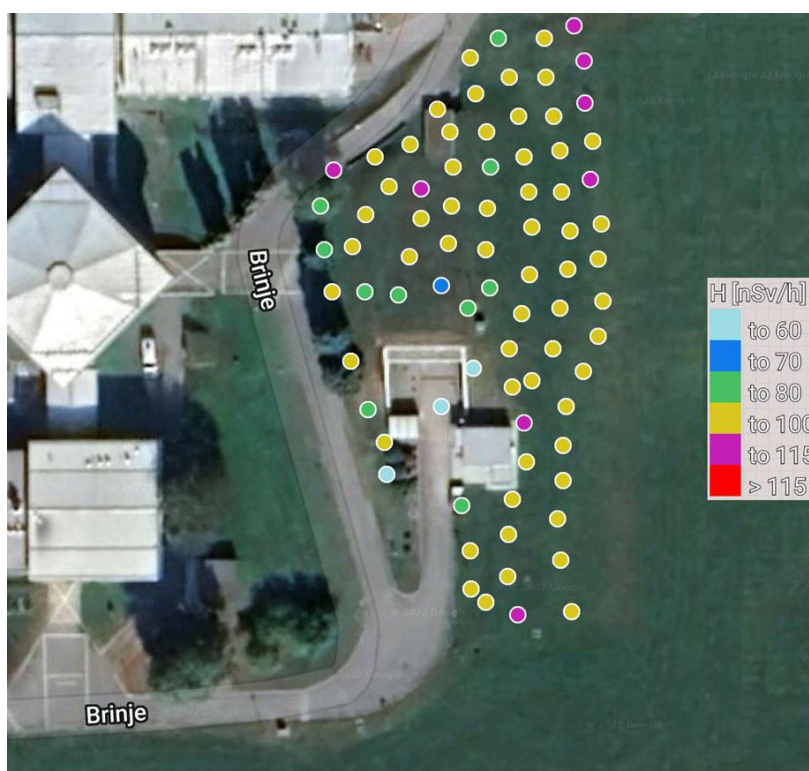


Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanje sevanja v okolici skladišča



Iz grafa 3 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena mesečna povprečna hitrost doze 0,128 $\mu\text{Sv/h}$ v decembru na strehi skladišča. Ob tovornih vratih je bila povprečna hitrost doze v vseh mesecih nekoliko nižja (največ 0,124 $\mu\text{Sv/h}$ v januarju). Na ograji na referenčni lokaciji so bile hitrosti doze primerljive z meritvami na strehi skladišča (največ 0,122 $\mu\text{Sv/h}$ v decembru). Povprečne hitrosti doze se v okviru merilnih negotovosti zelo malo razlikujejo.

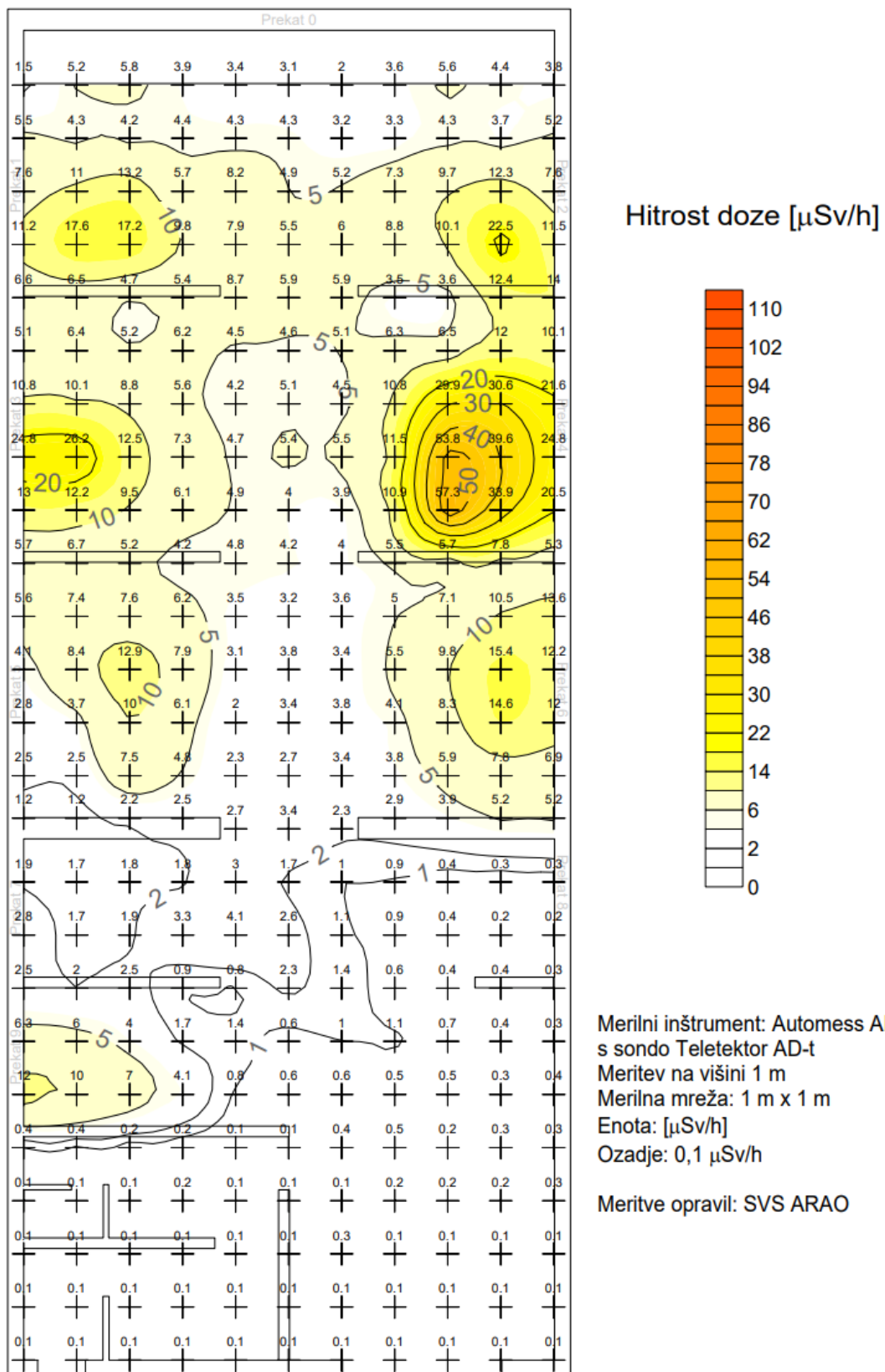
V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile do 0,054 $\mu\text{Sv/h}$ na asfaltni površini pred objektom CSRAO, pa do največ 0,111 $\mu\text{Sv/h}$. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.



Slika 2: Rezultati meritev hitrosti doze $H^*(10)[\text{nSv/h}]$ sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, predstavljeni s programsko opremo Route Monitoring (september 2022)

Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze 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 se bolj aktivni sodi nahajajo globlje v prekatih. Izmerjene vrednosti hitrosti doze sevanja gama v skladišču so do okrog 60 $\mu\text{Sv/h}$. Prispevek sevanja zaradi nevtronskih virov je precej nižji.

Zunanje sevanje v okolici objekta je bistveno 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 zunanega sevanja na okolje. Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča v letu 2022 iz vidika zunanega sevanja zanemarljiv.



Slika 3: Izmerjene vrednosti hitrosti doze ($\mu\text{Sv/h}$) dne 10. 8. 2022 s prenosnim merilnikom v CSRAO. Merske točke so bile oddaljene najmanj pol metra od sodov.



2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

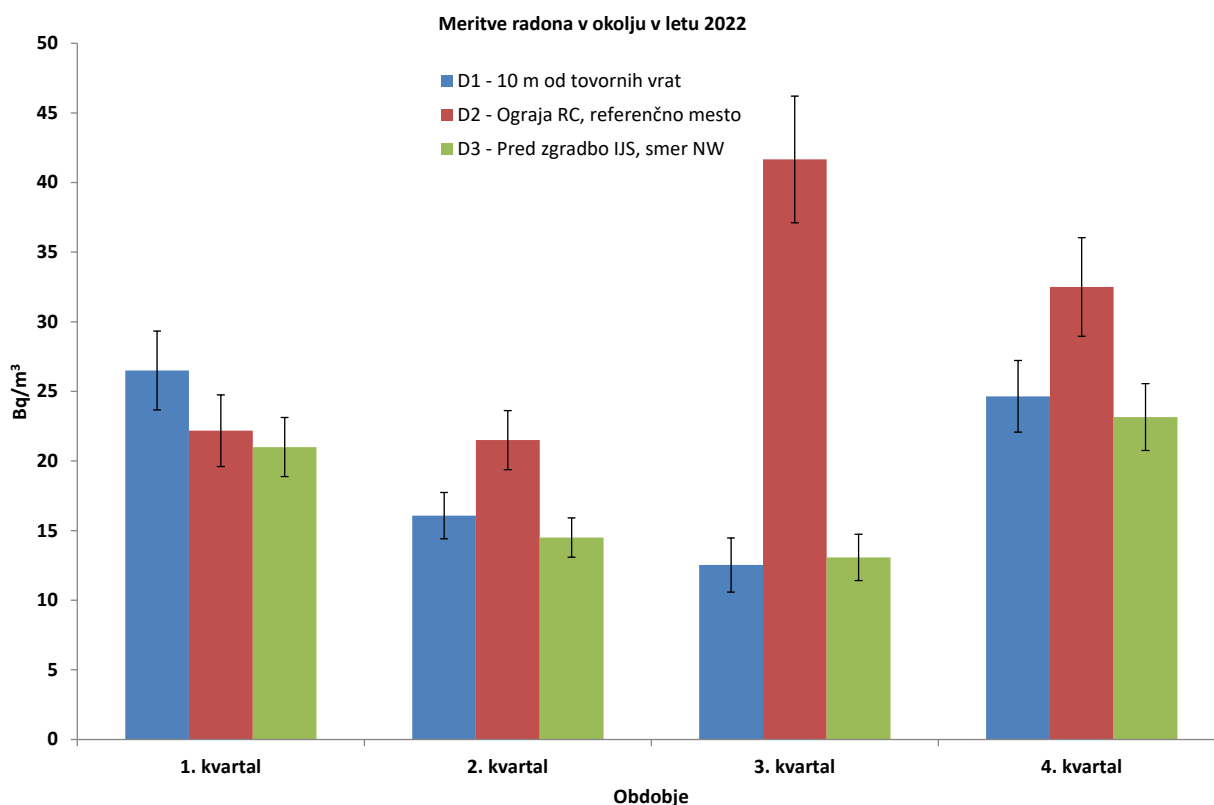
Meritve koncentracije radona v okolju se izvajajo z detektorji sledi (Rn etched-track detektorji), ki so integrirni merilniki. Detektorji sledi so bili nameščeni za obdobje treh mesecev (kvartalno). Meritve je izvajal ZVD na treh lokacijah (slika 1):

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

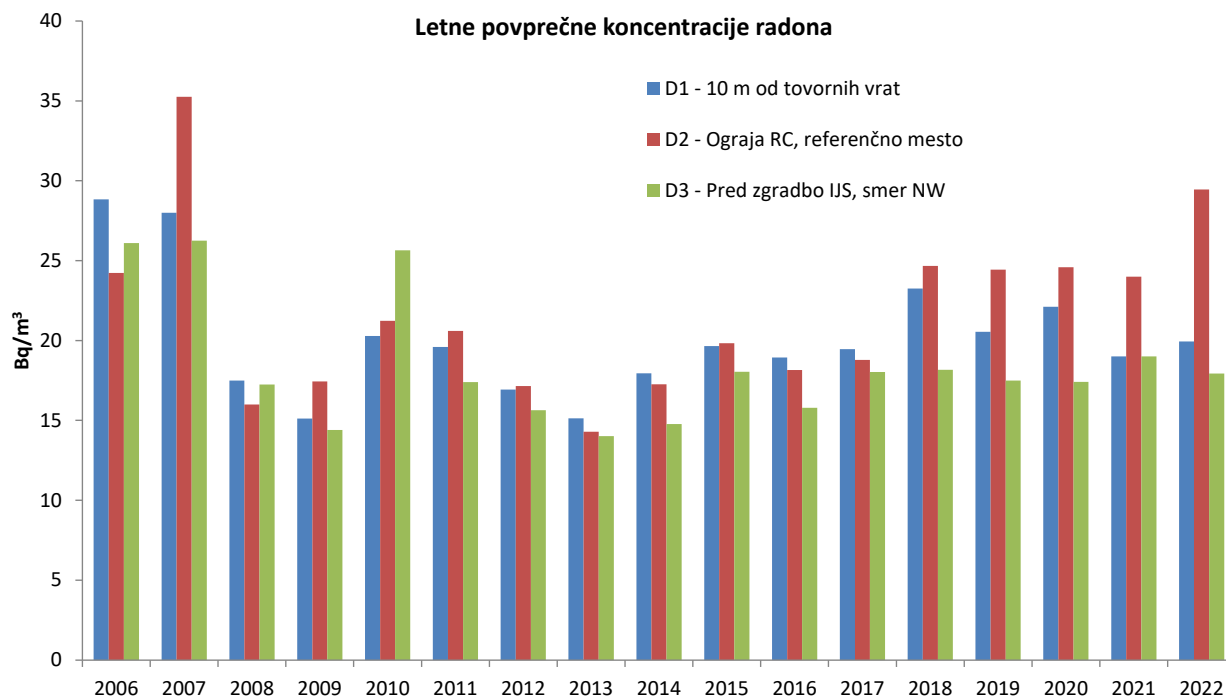
Na vsakem merilnem mestu sta bila istočasno izpostavljena dva detektorja na višini 150 cm nad tlemi. Pri vrednotenju smo upoštevali uteženo povprečje obeh detektorjev. Rezultati meritev so podani na grafu 4 in v tabeli 6.

Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji 10 m od tovornih vrat (D1) je bila (20 ± 1) Bq/m³. Na lokaciji pred zgradbo IJS (D3) je bila povprečna koncentracija (18 ± 1) Bq/m³ in na referenčnem mestu (D2) je bila (29 ± 2) Bq/m³. Večino let opažamo najvišje izmerjene koncentracije na referenčni lokaciji, kar je posledica naravne ekshalacije radona iz okoliške zemlje. V tretjem kvartalu smo opazili izrazita neobičajna odstopanja med posameznimi izmerjenimi vrednostmi in tudi med lokacijami. Pričakovali bi 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 Bq/m³ – 35 Bq/m³).



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



Graf 5: Povprečne letne koncentracija 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)

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 treh lokacijah južno in vzhodno od pomožnega objekta. V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile opravljene tudi primerjalne meritve in-situ med ARAO in IJS (ELME) na lokaciji južno od pomožnega objekta CSRAO.

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

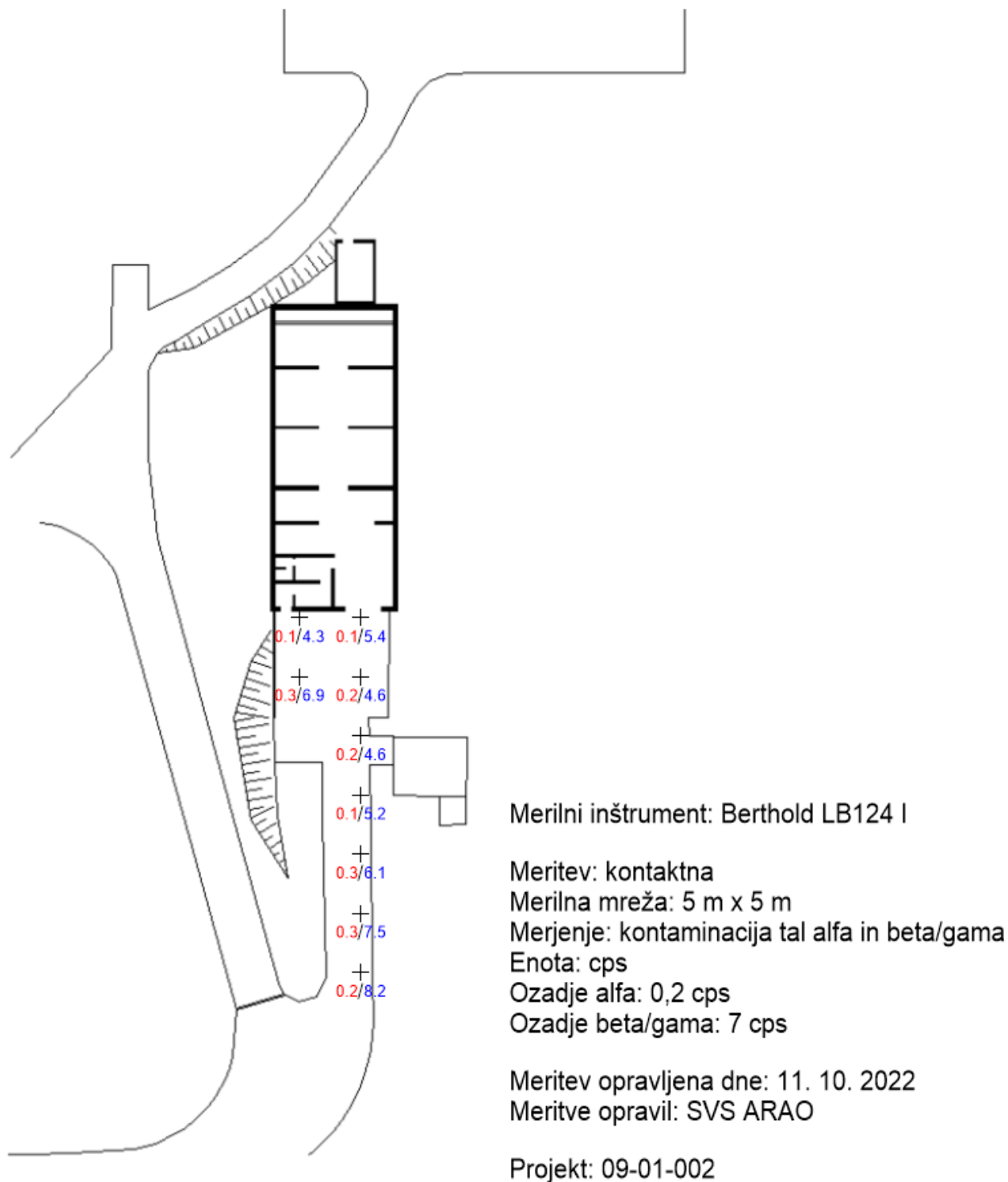
ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži (slika 5). Rezultati meritev kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2022, 09-01-002/JŠ/23-SVS-02). Na asfaltnih površinah je bilo zaznано le običajno naravno ozadje ($4 \text{ s}^{-1} - 8 \text{ s}^{-1}$ beta/gama).

2.5.2 TALNI USED

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

Na vazelinski plošči (tabela 9) so bili izmerjeni naravni radionuklidi in Cs-137, ki je del globalne kontaminacije še iz obdobja černobilske nesreče. Rezultati so v okviru merske negotovosti primerljivi z meritvami iz predhodnih let. Aktivnost kozmogenega radionuklida Be-7 je bila 940 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. V tem letu je bilo galaktično kozmično sevanje srednje 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. 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 $12 \text{ Bq/s} \pm 30\%$ in primerljiva s preteklim letom. Skladno z modelom smo pri tem predpostavili, da je prezračevanje skladiščnega prostora delovalo polovico leta. Izpusti vključujejo tudi prispevek radona zaradi naravnega okolja (radonski tok skozi stene in talno ploščo objekta CSRAO). Slednji prispevek je po naši oceni majhen.

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

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

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

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

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



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

Obdobje	Ocenjeni Izpusti iz skladišča [Bq/s]	Ocena radonskega toka v skladišče (povprečje letne in zimske meritve) [Bq/s]
Po rekonstrukciji skladišča in pred prepakiranjem RAO leta 2007	33	44
Po prepakiranju RAO leta 2008	10	9
V letu 2015	6	9
V letu 2016	7	9
V letu 2017	8	11
V letu 2018	9	12
V letu 2019	11	16
V letu 2020	10	12
V letu 2021	13	17
V letu 2022	12	16

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 2022 ocenjujemo na približno **0,38 GBq/leto**, kar je podobno kot v predhodnem letu (0,42 GB/leto) vendar precej nižje od obratovalnega dovoljenja 6,3 GBq/leto. Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 600 m² (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m²s).

Pripravek 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 0,7 Bq/m³ nad ozadjem (običajno ozadje je okoli 20 Bq/m³).

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od objekta. Upoštevali smo izpust 12,2 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)	9,8	1,2	0,5	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)	21,9	2,4	0,9	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, 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. Vzoredno smo naredili izračune tudi z upoštevanjem novih doznih 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 12,2 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 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	0,8	0,03	1,7
Radonovi potomci (μSv/leto) - ICRP 137	1,7	0,07	4,7
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza (μSv/leto)	< 2	< 0,1	< 5



4 MERSKI REZULTATI

4.1 PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA

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

(A) - Meritve emisij (meritve izpustov)

VODA (podzemni zbiralnik)

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

ZUNANJE SEVANJE

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

ZRAK

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



(B) - Meritve imisij (meritve v okolju)

ZUNANJE SEVANJE

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

ZRAK

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

VODA (podtalnica)

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



(C) – Vzdrževanje pripravljenosti

MERITVE KONTAMINACIJE TAL

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

TALNI USED

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



4.2 TABELE MERITEV PROGRAMA A, B IN C

4.2.1 Voda (podzemni zbiralnik)

Tabela 4: Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih vode iz podzemnega zbiralnika. Meritve je opravil IJS. V jeseni smo vzorčili dvakrat isto vodo iz cisterne.

Oznaka vzorca	RA22-VN1-41 20. 4. 2022	RA22-VN1-A1 25. 10. 2022	RA22-VN1-B1 22. 11. 2022
RADIONUKLID	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	2,7E+00 ± 8,9E-01	1,1E+01 ± 8,9E-01	5,4E+00 ± 5,3E-01
K-40	4,2E+02 ± 1,5E+01	3,7E+02 ± 1,8E+01	3,4E+02 ± 1,2E+01
Cs-137	2,9E-01 ± 1,2E-01	3,8E-01 ± 6,7E-02	2,4E-01 ± 8,7E-02
Pb-210	< 8,8E+01	6,6E+01 ± 5,4E+00	5,5E+01 ± 2,6E+00
Ra-226	< 1,6E+00	7,5E-01 ± 1,9E-01	< 2,6E+00
Ra-228	–	–	4,3E-01 ± 2,5E-01
Th-228	< 5,4E-01	1,7E-01 ± 4,8E-02	4,8E-01 ± 1,1E-01
U-238	< 3,7E+00	1,2E+00 ± 5,1E-01	< 4,3E+00
Am-241	–	4,7E-01 ± 4,7E-02	4,6E-01 ± 2,7E-02

4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: Doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2022. Meritve je izvedel IJS.

Datum	Mesec	t1 – tovarna vrata CSRAO	t2 – vrata strojnice	t3 – streha CSRAO	t4 – 10 m od tovornih vrat CSRAO	t5 – 30 m od tovornih vrat CSRAO	t6 – na ograji RC IJS
6. 1. - 9. 2. 2022	Januar	0,101	0,053	0,097	0,067	0,088	0,085
9.2. - 10.3. 2022	Februar	0,068	0,044	0,077	0,058	0,066	0,073
10. 3. - 5. 4. 2022	Marec	0,061	0,037	0,075	0,052	0,064	0,069
5. 4. - 5. 5. 2022	April	0,078	0,047	0,071	0,055	0,069	0,076
5. 5. - 3. 6. 2022	Maj	0,068	0,044	0,076	0,060	0,071	0,075
3. 6. - 6. 7. 2022	Junij	0,079	0,045	0,094	0,061	0,090	0,091
6. 7. - 3. 8. 2022	Julij	0,067	0,043	0,080	0,058	0,072	0,077
2. 8. - 5. 9. 2022	Avgust	0,098	0,054	0,089	0,066	0,086	0,095
5. 9. - 5. 10. 2022	September	0,076	0,052	0,090	0,066	0,087	0,086
5. 10. - 9. 11. 2022	Oktober	0,083	0,060	0,091	0,067	0,094	0,092
9. 11. - 8. 12. 2022	November	0,068	0,045	0,072	0,062	0,071	0,081
8. 12. 2022 - 6. 1. 2023	December	0,078	0,049	0,089	0,060	0,076	0,085
Letna doza (mSv):		0,93	0,57	1,00	0,73	0,93	0,99



4.2.3 Zrak

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

2022		Koncentracija (Bq/m ³)						
Lokacija	30.12. - 4. 4. 2022	Uteženo povprečje	4. 4. - 1. 7. 2022	Uteženo povprečje	30. 6. - 27. 9. 2022	Uteženo povprečje	27. 9. - 6. 1. 2023	Uteženo povprečje
d1 – ob pomožnem objektu	27 ± 4	27 ± 3	23 ± 3	16 ± 2	< 10 [*]	13 [*] ± 2	22 ± 3	25 ± 3
	26 ± 4		13 ± 2		53 ± 8		32 ± 5	
d2 – na ograji RC IJS (referenčno mesto)	19 ± 3	22 ± 3	20 ± 3	22 ± 2	37 ± 6	42 ± 5	32 ± 5	33 ± 4
	31 ± 5		23 ± 3		48 ± 7		33 ± 5	
d3 – SZ rob CSRAO ob stavbi IJS	19 ± 3	21 ± 2	14 ± 2	15 ± 1	< 10 [*]	13 [*] ± 2	27 ± 4	23 ± 2
	23 ± 3		15 ± 2		20 ± 3		21 ± 3	

* Za izračun uteženega povprečja smo upoštevali koncentracijo (10 ± 2) Bq/m³

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	RA22-VRP1-51 P–1 piezometer zgornji BSP-1 (severno od CSRAO) 12. 5. 2022	RA22-VRP2-51 P–2 piezometer spodnji BSP-2 (južno od CSRAO) 12. 5. 2022
	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	3,5E+00 ± 8,6E-01	-
K-40	4,5E+01 ± 2,7E+00	3,7E+01 ± 2,6E+00
Pb-210	1,0E+01 ± 8,7E-01	< 4,9E+00
Ra-226	1,7E+00 ± 2,7E-01	2,9E+00 ± 9,0E-01
Ra-228	1,2E+00 ± 2,3E-01	-
Th-228	6,0E-01 ± 1,6E-01	6,3E-01 ± 2,3E-01
U-238	4,9E+00 ± 8,7E+00	< 4,7E+00



4.2.5 Meritve kontaminacije tal

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

Lokacija	25 m jugovzhodno od pomožnega objekta	
	HPGe – IJS (ELME)	3×3" NaI(Tl) – ARAO
Datum meritev	7. 12. 2022	7. 12. 2022
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
K-40	290 ± 60	273 ± 82
Cs-137	18 ± 4	20 ± 6
Ra-226 (Bi-214)	41 ± 9	30 ± 9
Ra-228	31 ± 6	–
Th-228	27 ± 6	24 ± 7
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m ²)	
Be-7	320 ± 100	–
Cs-137	620 ± 130	590 ± 177

4.2.6 Talni used

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

Oznaka vzorca	RA22-PV1-M1 6. 1. 2022 – 6. 1. 2023
RADIONUKLID	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	9,4E+02 ± 4,7E+01
K-40	3,1E+00 ± 4,2E–01
Cs-137	1,6E–01 ± 2,7E–02
Pb-210	1,0E+02 ± 5,9E+00
Ra-226	1,2E+00 ± 7,4E–01
Th-228	1,0E–01 ± 6,3E–02



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: $F = EEC / \text{Konc.}_{Rn-222}$



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 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



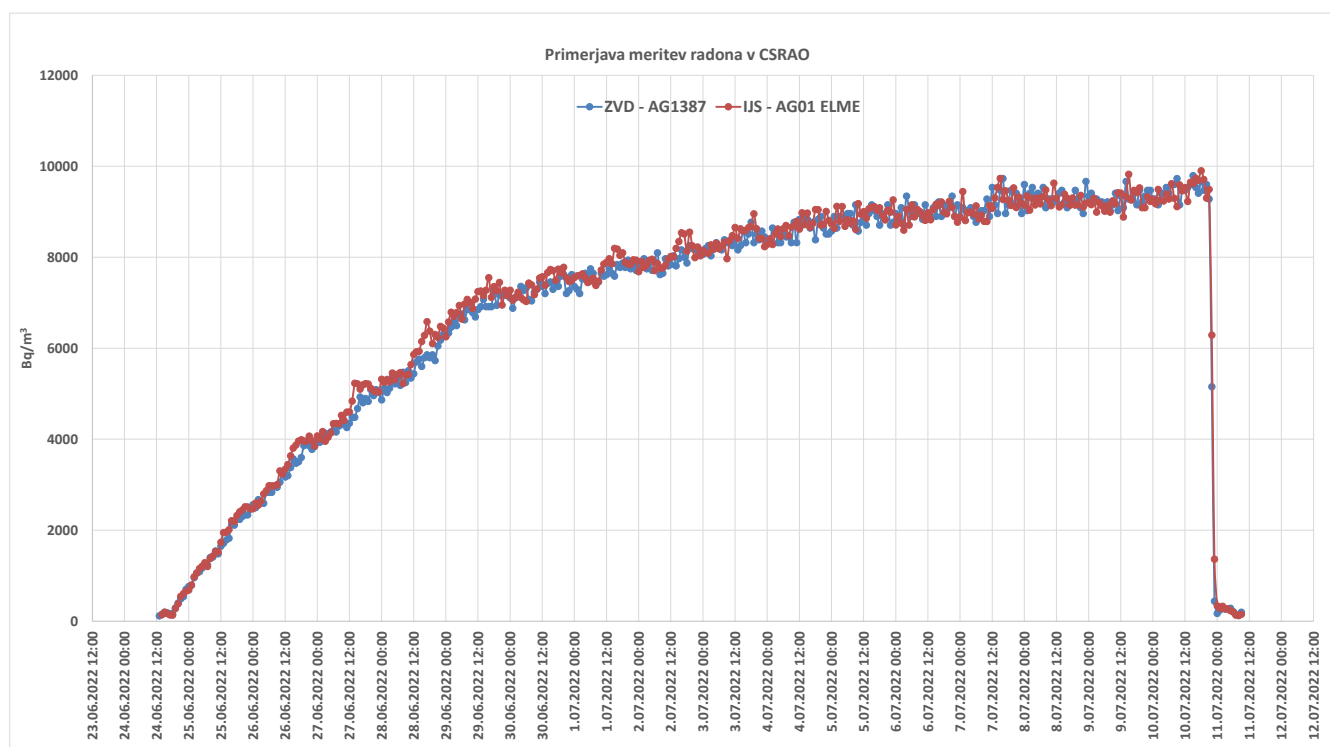
4.5 NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti so bile v letu 2022 izvedene primerjave meritev koncentracije radona med ZVD in IJS. Merilniki so bili postavljeni v skladišču med prekatoma 3 in 4.

Tabela 11: Primerjalne meritve koncentracije radona v obdobju od 24. 6. – 11. 7. 2022. Merske negotovosti so poročane s faktorjem pokritja $k=1$.

Merilnik	Začetek	Zaključek	Povprečna konc. Rn-222 [Bq/m ³]	M _{ZVD} /M _{IJS}	u-test
ALPHAGUARD (IJS-ELME AG01, št. 205)	24.06.2022 14:00	11.07.2022 09:00	6985 ± 1048	–	–
ALPHAGUARD (AG ZVD, št. 1387)	24.06.2022 13:00	11.07.2022 09:00	6887 ± 620	0,99	0,08

Rezultate meritev povprečne koncentracije Rn-222 smo primerjali med seboj z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|M - M_{REF}|}{\sqrt{u_{REF}^2 + u_M^2}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_M in u_{REF} negotovosti meritev ZVD in IJS. Ujemanje meritev je zelo dobro, saj je odstopanje povprečne koncentracije znotraj 1 %. Primerjali smo tudi posamične urne koncentracije (graf 5), kjer je bilo odstopanja pričakovano nekoliko višja (znotraj 15 %).



Graf 5: Primerjava urnih koncentracij aktivnosti Rn-222 v CSRAO



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-2022 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Mushroom and Water

V letu 2022 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 3 vzorcih umetno kontaminirane vode in enem vzorcu suhih gob določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in suhih gob z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Obenem je IJS sodeloval tudi pri testu homogenosti in časovne stabilnosti teh vzorcev. Individualna poročila smo prejeli decembra 2022.

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 15 za Odsek F-2) in primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in v vzorcu suhih gob.

Vsi rezultati so sprejemljivi, razen za Pb-210 v vzorcu vode IARMA-138 ter Pb-210 in Am 241 v vzorcu suhih gob. Rezultate smo natančno analizirali in izvedli neodvisne izračune, a vzrokov za odstopanja nismo odkrili. Ker je večina laboratorijev za vzorec gob poročala previsoke vrednosti za Pb-210 in podobne našemu rezultatu, smo kontaktirali ponudnika interkomparacije ter ga vprašali za dodatna pojasnila.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2022 Sample IARMA-138, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2022</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2022</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 015	Rel. Bias %	Z-test	Final score
(Bq/kg)					
Ba-133	2,32 ± 0,07	2,37 ± 0,09	2,2	0,2	A
Cs-134	9,60 ± 0,28	9,60 ± 0,30	0,0	0,0	A
Cs-137	9,99 ± 0,30	10,50 ± 0,40	5,1	0,5	A
Eu-152	5,33 ± 0,16	5,30 ± 0,20	-0,6	-0,1	A
Pb-210	9,50 ± 0,35	12,20 ± 2,30	28,4	2,8	W
Th-232	8,80 ± 0,26	9,20 ± 0,30	4,5	0,5	A
U-238	5,80 ± 0,17	5,40 ± 0,80	-6,9	-0,7	A
Am-241	5,36 ± 0,16	5,90 ± 0,20	10,1	1,0	A



IARMA ERAD-PT-2022 Sample IARMA-139, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2022</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2022</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 015	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Ba-133	7,03 ± 0,21	6,80 ± 0,30	-3,3	-0,3	A
Cs-134	13,33 ± 0,40	13,70 ± 0,50	2,8	0,3	A
Cs-137	6,47 ± 0,19	6,90 ± 0,30	6,6	0,7	A
Eu-152	7,46 ± 0,22	7,70 ± 0,30	3,2	0,3	A
Pb-210	27,78 ± 0,83	30,30 ± 3,50	9,1	0,9	A
Th-232	13,33 ± 0,40	13,70 ± 0,50	2,8	0,3	A
U-238	10,90 ± 0,33	10,90 ± 1,30	0,0	0,0	A
Am-241	10,45 ± 0,31	11,20 ± 0,70	7,2	0,7	A

IARMA ERAD-PT-2022 Sample IARMA-140, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2022</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2022</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 015	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Ba-133	9,53 ± 0,29	9,10 ± 0,30	-4,5	-0,5	A
Cs-134	17,97 ± 0,54	18,20 ± 0,60	1,3	0,1	A
Cs-137	3,05 ± 0,09	3,20 ± 0,20	4,9	0,5	A
Eu-152	11,65 ± 0,35	11,90 ± 0,40	2,1	0,2	A
Pb-210	40,81 ± 1,22	47,20 ± 3,40	15,7	1,6	A
Th-232	17,22 ± 0,52	17,50 ± 0,60	1,6	0,2	A
U-238	20,10 ± 0,60	19,70 ± 1,60	-2,0	-0,2	A
Am-241	16,09 ± 0,48	17,30 ± 0,60	7,5	0,8	A



IARMA ERAD-PT-2021 Sample IARMA-137, Mushroom analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2022</i> , končni rezultati objavljeni <i>decembra 2022</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 015	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
K-40	1113,0 ± 31,0	1190,00 ± 40,0	6,9	0,7	A
Ba-133	17,76 ± 0,53	19,60 ± 0,60	10,4	1,0	A
Cs-134	30,60 ± 0,92	33,60 ± 1,10	9,8	1,0	A
Cs-137	13,33 ± 0,40	15,50 ± 0,50	16,3	1,6	A
Eu-152	19,52 ± 0,59	22,90 ± 0,80	17,3	1,7	A
Pb-210	18,00 ± 0,54	32,20 ± 2,20	78,9	7,9	N
Am-241	9,31 ± 0,28	11,20 ± 0,40	20,3	2,0	W

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 (gamma-ray spectrum analysis exercise), and simulated contaminated surface samples, IAEA-TERC-2022-02

V juniju 2022 je Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory z IAEA razposlal 4 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec simuliranega kontaminiranega površinskega vzorca in spekter meritve vzorca zemlje za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli novembra 2022 [Individual Evaluation Report for Laboratory No. 10 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TERC-2022-04, IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Seibersdorf, November 2022].

V naslednjih tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 10 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 4 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

Dodaten kriterij za ovrednotenje rezultatov interkomparacije je ζ -test, ki je definiran kot:

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

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

Vsi rezultati so sprejemljivi. Vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TERC-2022-02 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>junija in julija 2022</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2022</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	ζ -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Co-60	17,7 ± 1,1	18,0 ± 0,6	1,69	-0,24	0,27	A
Cs-134	15,9 ± 1	15,7 ± 0,5	-1,26	0,18	0,20	A
Cs-137	24,2 ± 1,5	24,0 ± 0,8	-0,83	0,12	0,13	A
Pb-210	31,3 ± 1,9	37,7 ± 2,8	20,45	-1,89	3,37	A

IAEA-TERC-2022-02 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>junija in julija 2022</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2022</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	ζ -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	10,1 ± 0,6	10,7 ± 0,4	5,94	-0,83	1,00	A
Cs-137	8,36 ± 0,5	8,4 ± 0,3	0,48	-0,07	0,08	A
Pb-210	5,2 ± 0,31	5,1 ± 0,9	-1,92	0,11	0,32	A



IAEA-TERC-2022-02 Sample 03, Spiked Water analize IJS opravljene <i>junija in julija 2022</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2022</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	0,902 ± 0,054	0,84 ± 0,08	-6,87	0,64	1,15	A
Cs-134	12,1 ± 0,7	12,0 ± 0,4	-0,83	0,12	0,14	A
Cs-137*	22,6 ± 1,4	22,6 ± 0,7	0,00	0,00	0,00	A

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

IAEA-TERC-2022-02 Sample 05, "Simulated contaminated surface sample (blue)"* analize IJS opravljene <i>junija in julija 2022</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2022</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Cs-137	0,332 ± 0,048	0,274 ± 0,010	-17,47	1,18	1,21	A

* Radionuklid Cs-137 v vzorcu 5 nima določenih referenčnih vrednosti IAEA. V tem primeru je primerjava narejena s povprečno vrednostjo sodelujočih laboratorijev in pripadajočo robustno standardno deviacijo. Le-te so navedene v stolpcu IAEA.

4.6.3 IAEA, Environmental Laboratories, Monaco

Proficiency test for Tritium, Strontium and Gamma Emitters in Seawater 2022, IAEA Environment Laboratories, Monaco, Radiometrics Laboratory, IAEA-RML-2022-01

Julija 2022 je IAEA (Environmental Laboratories, Monaco) razposlala vzorec morske vode iz Mediterana, kontaminirane s H-3, Sr-90, Cs-134, Cs-137 in »neznanim« radionuklidom. Na tem vzorcu smo opravili meritve vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama (Cs-134, Cs-137, K-40, »neznanik« radionuklid pa je bil Na-22). Meritve smo naredili v dveh nizih – najprej smo izvedli direktne meritve vode v posodi s premerom Φ111 (masa vode je bila 0,534 kg), nato pa smo vodo (4,67 kg) izparili ter merili vsebnost radionuklidov v sušini. Poročali smo rezultate meritve sušine, ker pri rednih meritvah vodnih vzorcev, zaradi boljšega izkoristka, merimo radionuklide v sušini. Meritve vode so bile opravljene avgusta, meritve sušine pa septembra in oktobra 2022. Rezultate smo organizatorju posredovali novembra 2022.

Individualno poročilo smo prejeli decembra 2022 [*Individual Evaluation Report for Sample Number S22N071*]



(LabCode 71) (IJS, Odsek F-2) for the World-Wide Proficiency Test IAEA-RML-2022-01, IAEA, Radiometrics Laboratory, NA Marine Environment Laboratory NA_MEL, Mai Khanh Pham, November 2022].

IAEA pri ovrednotenju te interkomparacije uporabila enake kriterije kot pri interkomparaciji IAEA-TERC-2022-02, le namesto Z-testa so izvedli ζ-test.

Vsi rezultati so sprejemljivi. Vrednosti ζ-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-RML-2022-01 Spiked Mediterranean Seawater analize IJS (sušina) opravljene <i>septembra in oktobra 2022</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2022</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS (koda vzorca S22N71)	Rel. bias (%)	P (%)	ζ-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Cs-134	0,370 ± 0,002	0,380 ± 0,010	2,6	2,7	-0,98	A
Cs-137	0,626 ± 0,005	0,660 ± 0,020	5,4	3,1	-1,65	A
Na-22	1,557 ± 0,013	1,550 ± 0,050	-0,4	3,3	0,14	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 2022, ARAO 09-01-002/MS/23-SVS-02
- Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju (poročila iz preteklih let), IJS
- Emisije radona iz skladišča radioaktivnih odpadkov in vpliv na okolje, ARAO-T1511-3/2
- 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-05/10</i>	Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti
<i>LMR-OP-06/10</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-08/08</i>	Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/09</i>	Označevanje vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo 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-27/06</i>	Rokovanje z vzorci
<i>ELME-DN-14/11</i>	Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama in radiološka karakterizacija lokacije

Kontrolni postopki

<i>LMR-KP-06/04</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 <i>Alpha</i>
<i>LMR-RP-04/02</i>	Seznam in kratek opis algoritmov za analizo spektrov na VLG
<i>LMR-RP-05/04</i>	Ocena merilne negotovosti

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

Organizacijski postopki

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

Delovna navodila

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



Kontrolni postopki

TLD-KP-03/05 Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov

Računski postopki

TLD-RP-01/04 Kratak 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)