

IJS delovno poročilo
IJS-DP-13041
Ljubljana, februar 2020

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2019



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 2019

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-13041

Štev. projekta ARAO: 09-01-002
Štev. pogodbe ARAO: ARAO P012/2019 z dne 6. 2. 2019

Izvajalci meritev na IJS: Drago Brodnik, Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., mag. Denis Glavič-Cindro,
Sandi Gobec, dr. Marijan Nečemer, dr. Toni Petrovič, Klara Poiškruh,
inž. 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. Jadran Lenarčič		

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



IJS-DP-13041
februar 2020

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2019

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 2019 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,03 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-13041
February 2019

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2019

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 2019 the effective dose is conservatively estimated to 0.03 μSv 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	EMISIJE	7
2.3.1	VODA (podzemni rezervoar)	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	14
2.5.1	MERITVE KONTAMINACIJE TAL	14
2.5.2	TALNI USED.....	16
3	Ocena vpliva na okolje.....	16
3.1	Atmosferski izpusti	16
3.2	Tekočinski izpusti.....	18
3.3	Ocena prejete doze	18
4	Merski rezultati	20
4.1	Program obratovalnega monitoringa.....	20
	(A) - Meritve emisij	20
	(B) - Meritve imisij	21
	(C) – Vzdrževanje pripravljenosti.....	22
4.2	Tabele meritev programa A, B in C	23
4.2.1	Voda (podzemni rezervoar).....	23
4.2.2	Zunanje sevanje.....	24
4.2.3	Zrak.....	24
4.2.4	Voda (podtalnica)	25
4.2.5	Meritve kontaminacije tal	25
4.2.6	Talni used	26
4.3	Enote in nazivi količin	26
4.4	Orientacijske spodnje detekcijske meje za VL spektrometrijo gama	27
4.5	Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa	28
4.6	Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev	28
4.6.1	International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo.....	28
4.6.2	IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija	30
4.7	Referenčna dokumentacija	34



1 UVOD

V poročilu so podani in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju za leto 2019. Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program obratovalnega monitoringa radioaktivnosti, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, Poglavlje 13, rev. 2, ARAO-04-01-026-001, april 2018. Program je bil odobren s strani URSJV z odobritvijo Varnostnega poročila. Program je skladen s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur. l. RS, št. 27/18).

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

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

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

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

V letu 2019 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, nadzorne meritve sevanja, sodeloval je v inšpekcijskih nadzorih ter vodil strokovne ogledе.

V februarju in avgustu so v skladiščnem prostoru CSRAO potekala pripravljalna dela za odvoz nekaterih skladiščenih virov sevanja v reciklažo v tujino. Paketi namenjeni odvozu so vsebovali ionizacijske javljalnike požara, ki so vsebovali radionuklid Am-241. Priprava paketov za odvoz v reciklažo je potekala na transportni poti skladiščnega prostora, v bližini tovornih vrat (razkladalni prostor). Decembra so delavci opravili delni pregled paketov, ki se skladiščijo v prekatu 9 in v prekatu 7. Enajst paketov iz prekata 9, ki izhajajo iz sanacije objekta v Zavrattcu in ki so imeli pomanjkljivo karakterizacijo, so odpeljali v OVC na meritve VLG. Na teh izbranih paketih je bil opravljen tudi vizualni pregled zunanje embalaže in oznak ter izvedene so bile kontrolne meritve hitrosti doz zunanjega sevanja gama. Kovinske košare v prekatu 7 se je reorganiziralo, opravljen je bil vizualen pregled paketov, skladiščenih v košarah. Vpliv teh dejavnosti se ne odraža na rezultatih meritev sevanja ob transportnih vratih. Ostalih dejavnosti, ki bi lahko dodatno sevalno obremenjevala okolico objekta CSRAO, ni bilo.



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 kontaminirani odpadki). Del radona v CSRAO je tudi posledica prehajanja radona v prostor skozi stene in talno ploščo. Deleža prispevka radonskega toka iz naravnega okolja (prehod radona skozi stene) ni mogoče ovrednotiti.

Na podlagi opravljenih meritev smo ocenili, da je bila povprečna letna hitrost izpuščanja radona iz skladišča okoli 11 Bq/s. Izpusti ostajajo podobni že od leta 2011. Zmanjšanje izpustov po letu 2009 je posledica prepakiranja in dobre zatesnitve radijevih odpadkov v novo embalažo v letu 2008. Skupni povprečni letni izpust radona v letu 2019 ocenjujemo na okoli 0,35 GBq.

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

Imisije

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

Ocena izpostavitve

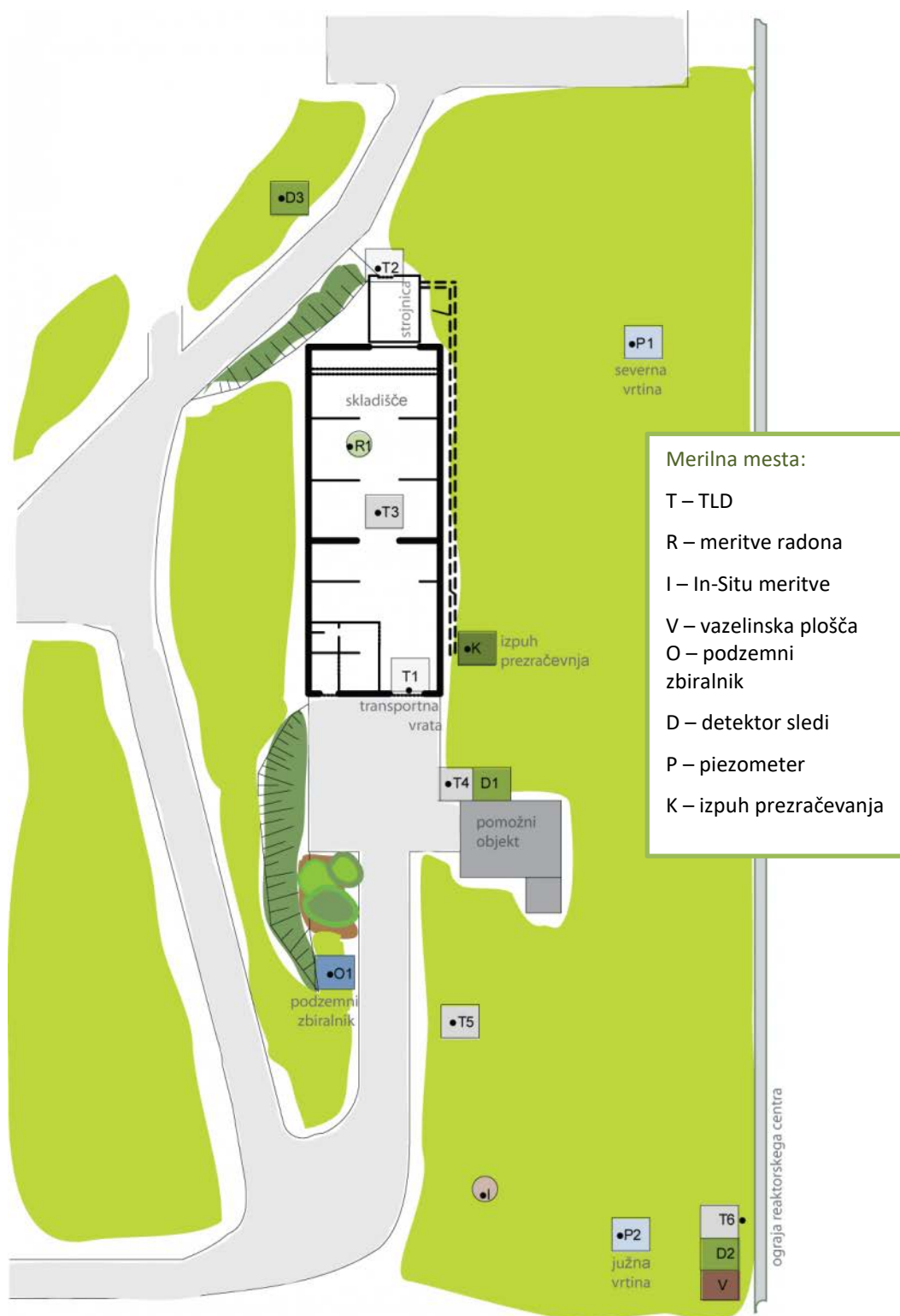
Pri izpostavljenosti referenčne osebe iz prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri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

Efektivna letna doza zaradi vdihavanja radona in potomcev, ki jo je po tem modelu prejel okoliški kmet, je 0,03 μ Sv. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Reaktorskem centru, je okoli 1 μ 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 2019.



Slika 1: Shematski prikaz vzorčevalnih mest



2.3 EMISIJE

2.3.1 VODA (podzemni rezervoar)

Vzorčenje odpadne vode poteka iz podzemnega rezervoarja, 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 rezervoarju je opravil IJS v juniju in decembru 2019. Tekočinska vzorca (~50 L) sta bila analizirana po izparevanju (koncentriranju) in homogenizaciji. Rezultati meritev so podani v tabeli 4.

V podzemnem rezervoarju običajno izmerimo Cs-137, ki je prisoten povsod v okolju zaradi globalne kontaminacije. V tem letu je bila izmerjena aktivnost Cs-137 do $3,3E-01$ Bq/m³. 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.

Za razliko od preteklih let, Am-241 v tem letu ni bil zaznan. Nazadnje je bil opažen v letu 2014, ko je bila njegova koncentracija na meji detekcije. Podobno v rezervoarju nismo zaznali niti prisotnosti Co-60, ki se je občasno pojavljal v teh vzorcih.

Koncentracije večine naravnih radionuklidov v podzemnem rezervoarju so običajne za površinske ali podzemne vode v naravnem okolju. Običajno minimalno izstopa K-40, katerega izmerjena aktivnost v letu 2019 je bila do 140 Bq/m³.

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 je opravila služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnim merilnikom radona AlphaGuard in sicer v poletnem času od 19. 6. 2019 do 8. 7. 2019 ter v zimskem obdobju od 19. 12. 2019 do 7. 1. 2020. Merilnik je bil nameščen med prekatoma 3 in 4. V zimskem obdobju je meritve naraščanja koncentracij radona opravil tudi pooblaščen izvajalec meritev ZVD. Odstopanje med meritvami ARAO in ZVD so bila v okviru merske negotovosti.

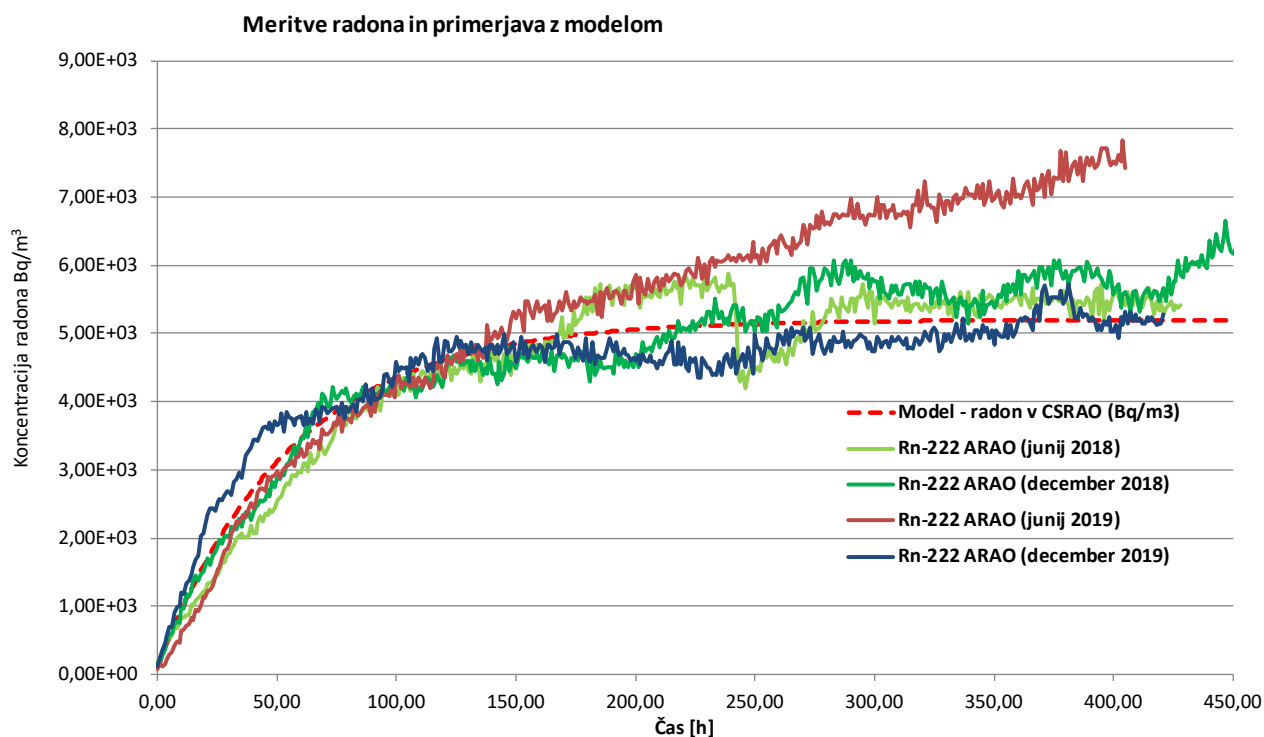
V zimskem obdobju v letu 2019 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli 5000 Bq/m³ (največja izmerjena vrednost 5720 Bq/m³, graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih je bila višja in sicer okoli 7000 Bq/m³ (največja izmerjena vrednost 7840 Bq/m³). Pri obeh meritvah so bili vremenski pogoji manj stabilni (nihanja v zračnem tlaku). Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanjšega tlaka in vremenske motnje. Tako je prišlo v zimskem obdobju do izrazitega padca tlaka ravno na začetku meritev in je zaradi tega strmina naraščanja koncentracije nekoliko višja. V poletnih mesecih je prišlo do padca tlaka ob koncu merilnega obdobja in zaradi tega posledično do povišanja koncentracije radona v tem obdobju. Za razliko od prejšnjih let smo v tem letu zaznali opaznejšo razliko med poletnimi in zimskimi meritvami. 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. Kadar skladiščni prostor daljši čas ni bil prezračevan, je bila pred letom 2004 običajna koncentracija radona do 8000 Bq/m³. 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 Bq/m³. 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 sode, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračevanem skladiščnem prostoru po tem letu padla na okoli 5000–6000 Bq/m³.

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



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



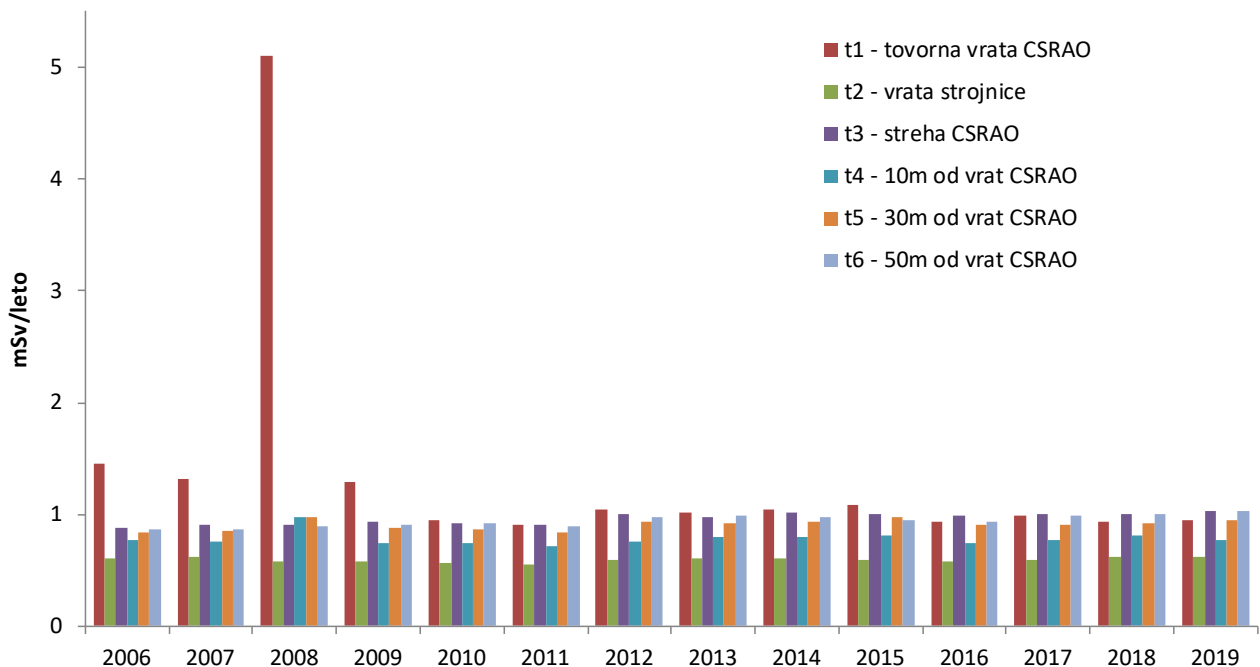
2.4 MERITVE V OKOLJU

2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

V okviru nadzora se izvajajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri na petih lokacijah in sicer na tovornih vratih CSRAO, na vratih strojnice, na strehi 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 referenčni lokaciji na ograji Reaktorskega centra 50 m od CSRAO. 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.

Pri menjavi TLD dne 12. 2. 2019 je bilo s strani IJS ugotovljeno, da je bil detektor s merilnega mesta strojnice najden na tleh. Prav tako je bil na tleh TLD ob menjavi dne 13. 6.2019 in sicer na merilnem mestu 30 m stran od vrat CSRAO. Omenjene pomanjkljivosti niso bistveno vplivale na rezultate meritev.

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze $H^*(10)$) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,95 mSv (0,94 mSv v letu 2018). Podobna je bila izmerjena letna doza na strehi CSRAO 1,03 mSv (1,01 mSv v letu 2018). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje sevanje v neposredni okolici CSRAO primerljivo z naravnim ozadjem in bistveno nižje od zakonskih omejitev (0,5 μ Sv/h ali 1 mSv v 2000 urah). To je posledica prepakiranja RAO v ustrežnejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanjega sevanja na okolje.



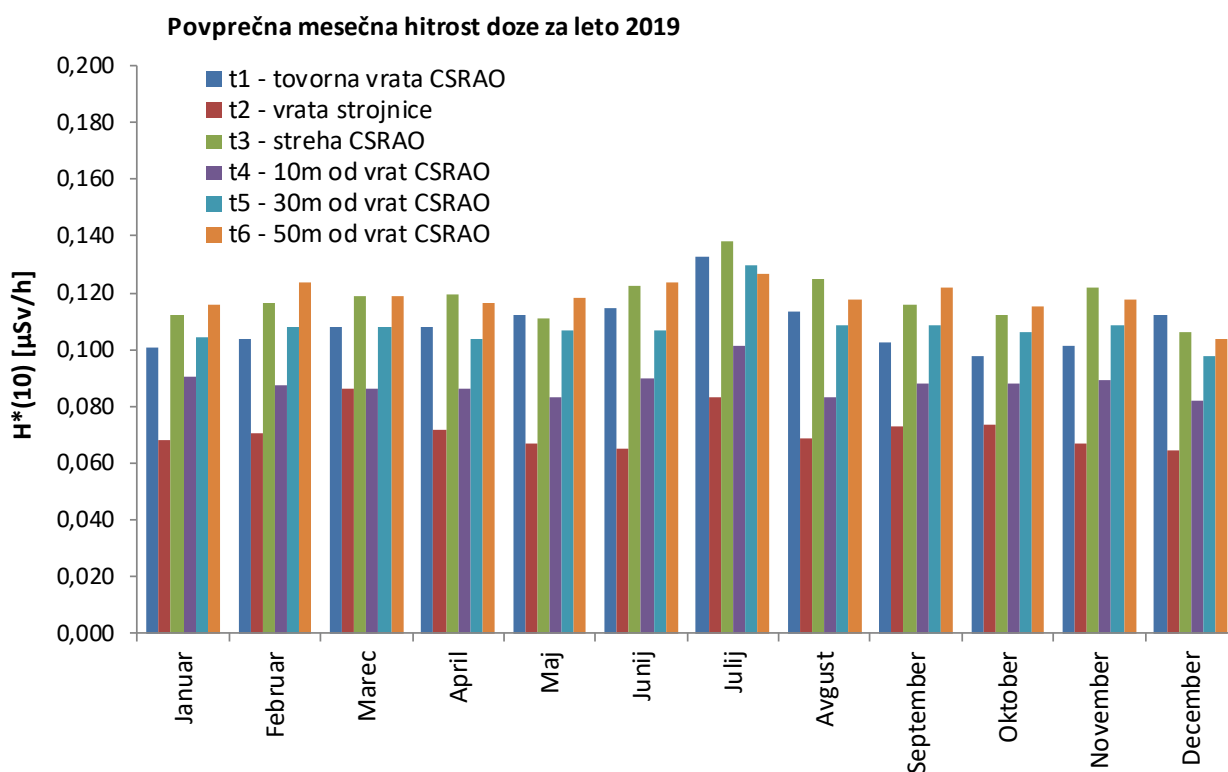
Graf 2: Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letne doze)

Pri analizi in primerjavi rezultatov meritev (Tabela 5) je potrebno upoštevati, da je merilni cikel za posamezni mesec lahko različen od dejanskega števila dni, zato smo na grafu 3 primerjali povprečne



hitrosti doze v posameznem mesecu in ne mesečne kumulativne doze. Iz grafa 3 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena povprečna hitrost doze na strehi skladišča v juliju $138 \mu\text{Sv/h}$. V istem mesecu so bile največje povprečne hitrost doze izmerjene tudi na transportnih vratih ($0,132 \mu\text{Sv/h}$) in na referenčni lokaciji 50 m od CSRAO v juliju $0,126 \mu\text{Sv/h}$. Povprečne hitrosti doze se v okviru merskih negotovosti zelo malo razlikujejo.

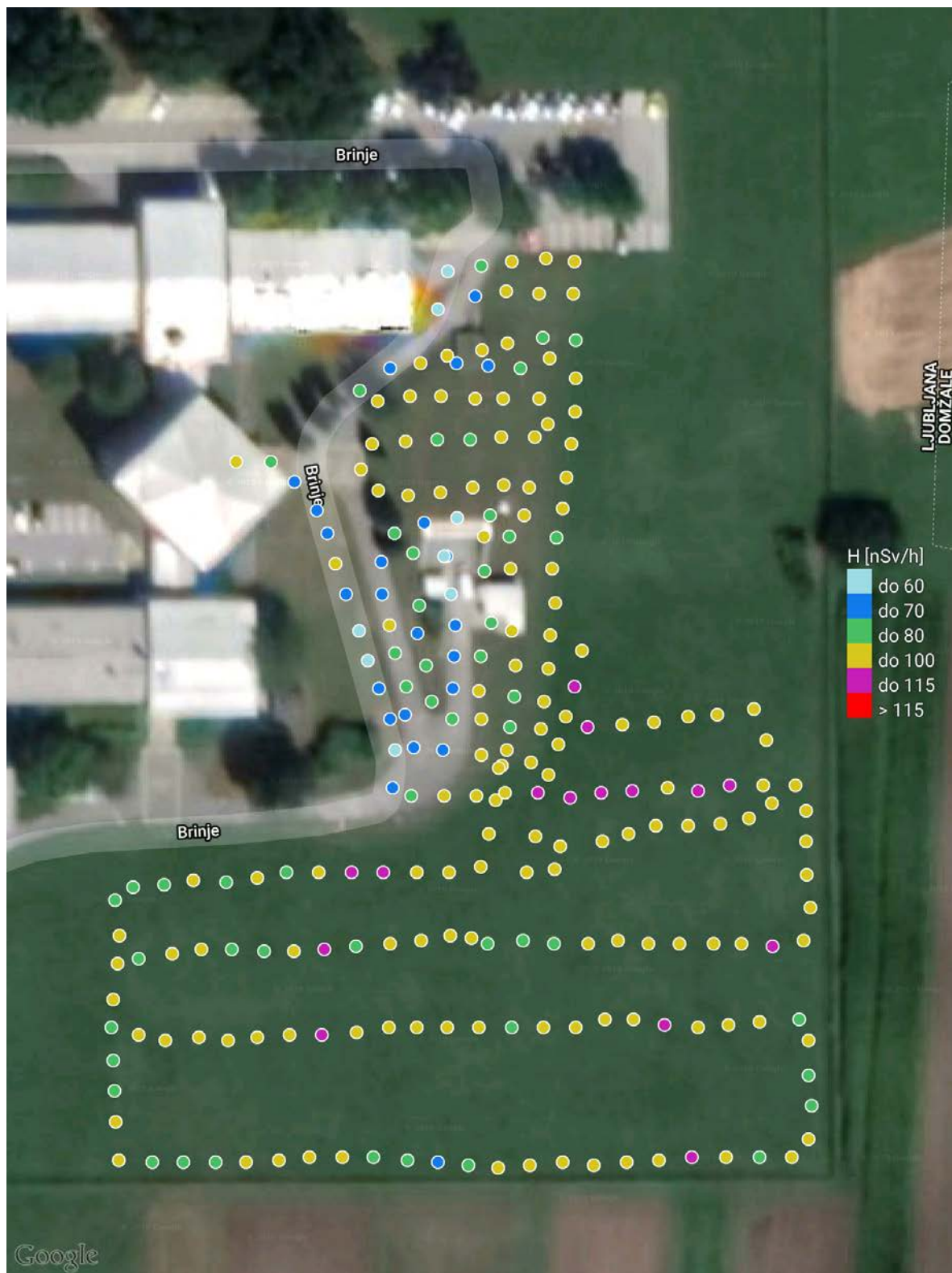
Tudi pri ostalih meritvah ni bilo pomembnih odstopanj, razlike so bolj odvisne od sestave tal (naravne radioaktivnosti, deleža vlage v zemlji), kot od sevanja iz samega objekta. Izmerjena letna doza 10 m od vrat je bila $0,77 \text{ mSv}$ ($0,81 \text{ mSv}$ v letu 2018) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC $1,04 \text{ mSv}$ ($1,01 \text{ mSv}$ v letu 2018). Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja zanemarljiv.



Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča leta 2018.

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 $0,045 \mu\text{Sv/h}$ na asfaltni površini pred objektom CSRAO, pa do največ $0,115 \mu\text{Sv/h}$ na travniku v okolici objekta CSRAO. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.

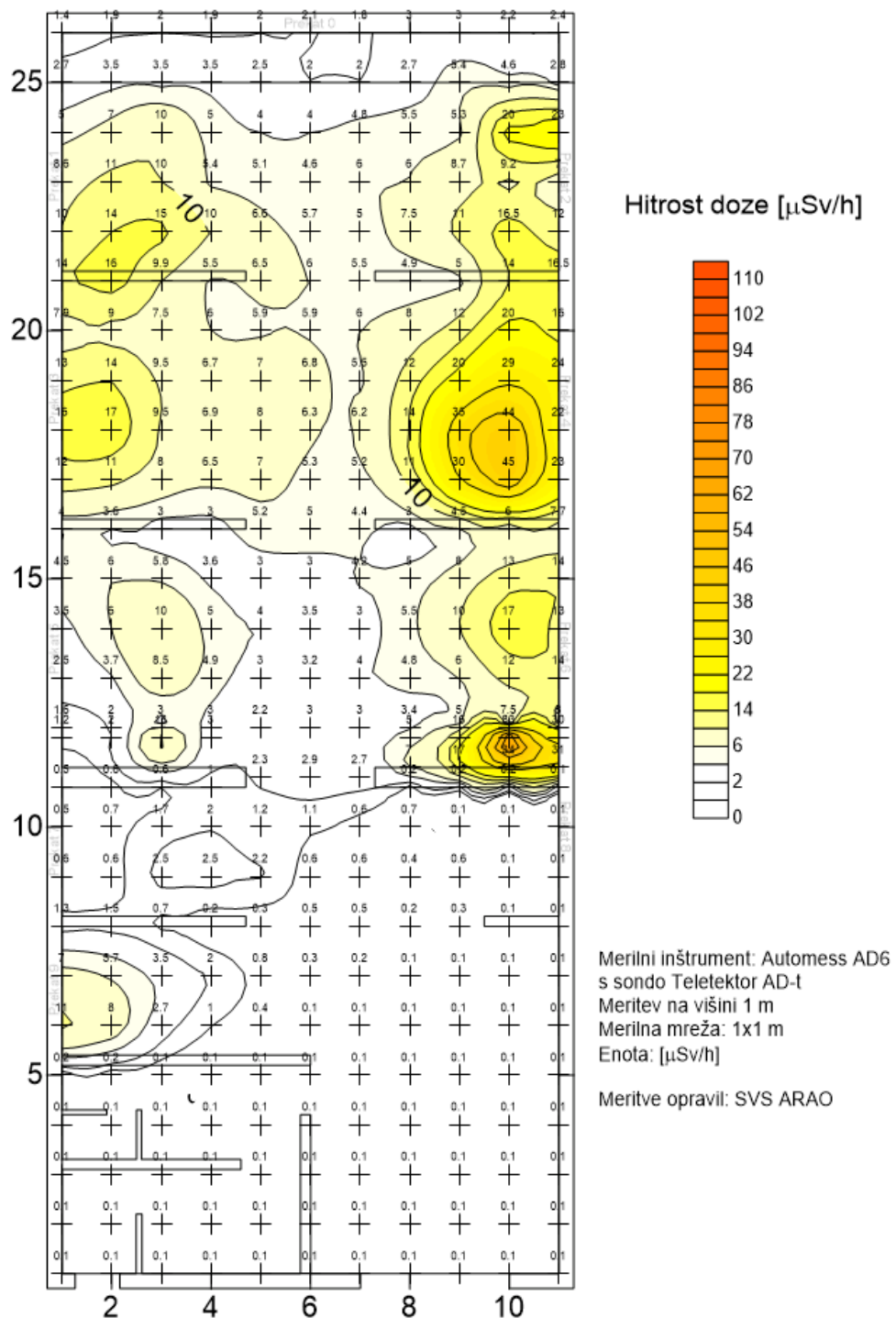
Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekatih v skladiščnem prostoru so podobni kot v preteklem letu in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in nove razmestitve sodov. Sedaj se bolj aktivni sodi nahajajo globlje v prekatih. Največja izmerjena hitrost doze je okoli $50 \mu\text{Sv/h}$.



Slika 2: Rezultati meritev hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, predstavljeni s programsko opremo RouteMonitoring (oktober 2019).



Dozno polje sevanja gama v CSRAO na Brinju stanje na dan 17.04.2019



SVS ARAO 09-01-001

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



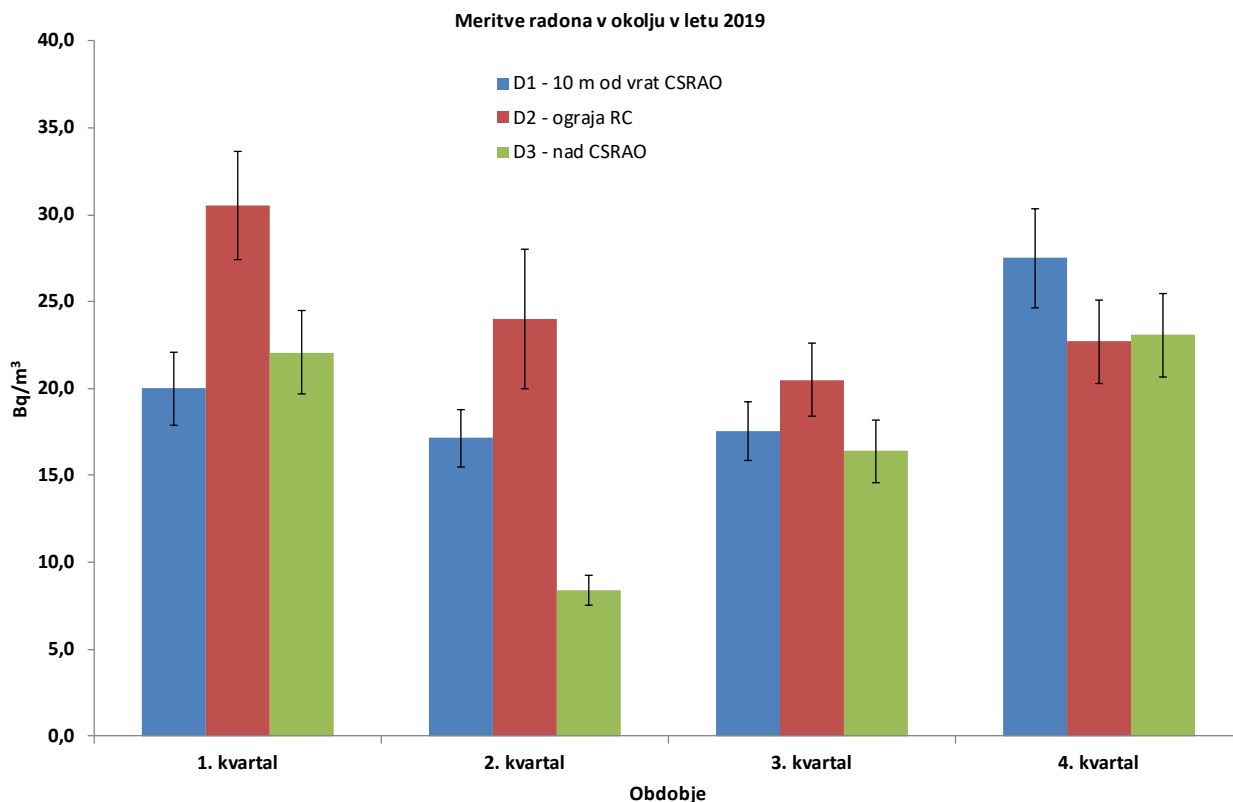
2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

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 CSRAO (lokacija - d1);
- na ograji RC - južno (lokacija – d2);
- nad CSRAO - severno (lokacija – d3).

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

Zaradi inverznih vremenskih pogojev je bila pričakovano najvišja izmerjena koncentracija v zimskem obdobju predvsem na travniku na ograji RC. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji D1 (10 m od CSRAO) je bila (21 ± 1) Bq/m³. Na lokaciji D3 (nad CSRAO ob stavbi IJS) je bila povprečna koncentracija (17 ± 1) Bq/m³ in na referenčni lokaciji D2 (ograja RC) je bila (24 ± 2) Bq/m³. Vse povprečne vrednosti so primerljive z rezultati meritev iz preteklih let ($15 \text{ Bq/m}^3 - 35 \text{ Bq/m}^3$).



Graf 4: Povprečna koncentracija radona v okolici skladišča.



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

2.4.3 VODA (podtalnica)

Vzorci vode podtalnice so bili vzeti na južni vrtini (slika 1, oznaka P2) in severni vrtini (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.

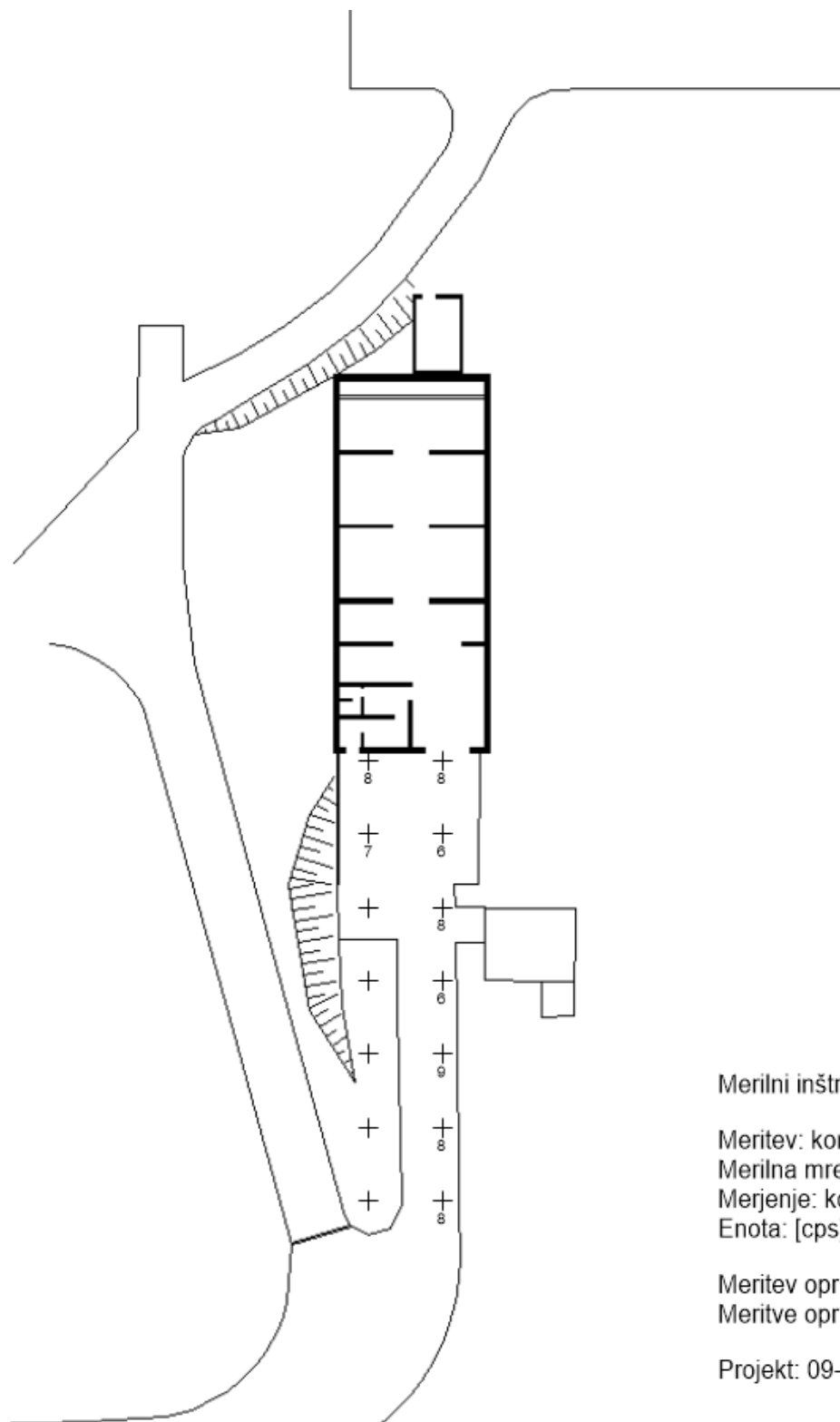
2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

2.5.1 MERITVE KONTAMINACIJE TAL

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

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 zelo 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 beta/gama na merilni mreži (slika 5). Rezultati meritev (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2019, 09-01-002/ME/20-SVS-1) kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije alfa. Z meritvami površinske beta/gama kontaminacije je bilo zaznано le običajno naravno ozadje ($6-9 \text{ s}^{-1}$).



Merilni inštrument: Berthold LB124 I

Meritev: kontaktna

Merilna mreža: 5x5 m

Merjenje: kontaminacija tal beta/gama

Enota: [cps]

Meritev opravljena dne: 22.10.2019

Meritve opravil: SVS ARAO

Projekt: 09-01-002

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



2.5.2 TALNI USED

V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji južno ob ograji 50 m od CSRAO, ki 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 650 Bq/m^2 , kar je primerljivo z običajno izmerjenimi aktivnostmi, ki 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.

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 povprečna hitrost izpuščanja radona iz objekta (11 ± 3) Bq/s v okviru merske negotovosti primerljiva s preteklim letom. Enako kot v preteklih letih smo pri tem predpostavili, da je prezračevanje skladiščnega prostora delovalo polovico leta. Izpusti vključujejo tudi prispevek radona zaradi naravnega okolja (radonski tok skozi stene in talno ploščo objekta CSRAO). Na podlagi strmeh naraščanja koncentracije radona v skladišču (graf 1) smo ocenili tudi skupni radonski tok v skladišče (13 Bq/s v poletnem obdobju).

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).

Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 550 m^2 (običajna ekshalacija $0,02 \text{ Bq/m}^2\text{s}$).



Tabela 1: Ocena povprečnih izpustov radona iz skladišča v preteklih letih. Negotovost ocene izpustov je $\pm 30\%$.

Obdobje	Ocenjeni Izpusti
Pred rekonstrukcijo skladišča (pred letom 2004)	~75 Bq/s
Po rekonstrukciji in pred izvedbo kondicioniranja RAO (po letu 2004 in pred koncem leta 2005)	~52 Bq/s
V letih 2006 in 2007	~33 Bq/s
Po kondicioniranju RAO leta 2008	~10 Bq/s
V letih 2009 in 2010	~4 Bq/s
V letih 2011, 2012, 2013, 2014 in 2015	~6 Bq/s
V letu 2016	~7 Bq/s
V letu 2017	~8 Bq/s
V letu 2018	~9 Bq/s
V letu 2019	~11 Bq/s

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2019 ocenjujemo na približno **0,35 GBq/leto**, kar je v okviru negotovosti $\pm 30\%$ primerljivo s preteklimi leti.

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

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

Iz tabele 2 je vidno, da je po Gaussovem modelu povprečna koncentracija radona na razdalji 50 m od vira (razdalja do ograje reaktorskega centra) okoli $0,5 \text{ Bq/m}^3$ nad ozadjem (običajno ozadje je okoli 20 Bq/m^3).

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 11 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)	8,79	1,10	0,44	0,11
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m^3)	19,78	2,20	0,77	0,22



3.2 TEKOČINSKI IZPUSTI

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

3.3 OCENA PREJETE DOZE

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

Pri oceni prejete efektivne doze smo upoštevali dve prenosni poti:

- vpliv zunanjega sevanja gama;
- inhalacijo radonovih potomcev.

Vpliv zunanjega sevanja smo ovrednotili na podlagi rezultatov meritev TLD.

Vpliv radona in potomcev smo ocenili na podlagi ocenjenega povprečnega izpusta 11 Bq/s. Oceno prejete doze smo naredili za tri odrasle predstavnike referenčne skupine:

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

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

Pri izračunu doze smo upoštevali naslednje predpostavke:

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



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

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

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

Tabela 3: Ocenjena letna efektivna doza za referenčno skupino

	Varnostnik - receptor	Okoliški kmet	Delavec IJS
Oddaljenost (m):	10	50	30
Radonovi potomci ($\mu\text{Sv}/\text{leto}$)	0,73	0,031	1,54
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza ($\mu\text{Sv}/\text{leto}$)	0,73	0,03	1,54



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

VODA (podzemni rezervoar)

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

ZUNANJE SEVANJE

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Zunanje sevanje, TL dozimeter	t1 – Vrata skladišča t2 – Vrata strojnice t3 – Nad objektom CSRAO t4 – 10 m od tovornih vrat t5 – 30 m od tovornih vrat	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, polletno, zimski in poletni čas	2 x 1 meritev, čas trajanja meritve 10 ali več dni



(B) - Meritve imisij

ZUNANJE SEVANJE

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Zunanje sevanje, TL dozimeter	t6 – Ograja (50 m od CSRAO) referenčno mesto	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 – 10 m od tovornih vrat d3 – Pred zgradbo IJS, smer NW d2 – Ograja (50 m od CSRAO), referenčno mesto	Zrak	Kvartalno	Kvartalno	4 (letno) × 3 (točke) × 2 (detektorja)

VODA (podtalnica)

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Izotopska analiza, VL spektrometrija gama	P2 piezometer, južna vrtina (BSP2) P1 piezometer, severna vrtina (BSP1)	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
In-situ spektrometrija gama	Na ožjem območju zunaj skladišča NSRAO	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	-	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 rezervoar)

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

Oznaka vzorca	RA19-VN1-61 26. 6. 2019
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	< 1,2E+00
K-40	1,4E+02 ± 7,2E+00
Cs-137	3,3E-01 ± 5,7E-02
Pb-210	4,0E+00 ± 5,7E-01
Ra-226	9,1E-01 ± 2,0E-01
Ra-228	8,0E-01 ± 4,2E-01
Th-228	6,8E-02 ± 5,2E-02
U-238	2,0E+00 ± 5,7E-01

Oznaka vzorca	RA19-VN1-C1 9. 12. 2019
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	< 1,2E+00
K-40	1,3E+02 ± 6,6E+00
Cs-137	2,4E-01 ± 6,4E-02
Pb-210	3,1E+00 ± 4,7E-01
Ra-226	2,7E+00 ± 4,6E-01
Th-228	2,0E-01 ± 6,0E-02
U-238	2,0E+00 ± 6,8E-01



4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: Doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2019. Meritve je izvedel IJS.

Datum	Mesec	t1 - tovarna vrata	t2 - vrata strojnice	t3 - streha	t4 - 10m od vrat	t5 - 30m od vrat	t6 - 50m od vrat
7.1. - 12.2. 2019	Januar	0,087	0,059	0,097	0,078	0,090	0,100
12.2. - 13.3.2019	Februar	0,072	0,049	0,081	0,061	0,075	0,086
13.3. - 9.4.2019	Marec	0,070	0,056	0,077	0,056	0,070	0,077
9.4. - 8.5.2019	April	0,075	0,050	0,083	0,060	0,072	0,081
8.5. - 13.6.2019	Maj	0,097	0,058	0,096	0,072	0,092	0,102
13.6. - 15.7.2019	Junij	0,088	0,050	0,094	0,069	0,082	0,095
15.7. - 12.8.2019	Julij	0,089	0,056	0,093	0,068	0,087	0,085
12.8. - 9.9.2019	Avgust	0,076	0,046	0,084	0,056	0,073	0,079
9.9. - 7.10.2019	September	0,069	0,049	0,078	0,059	0,073	0,082
7.10. - 11.11.2019	Oktober	0,082	0,062	0,094	0,074	0,089	0,097
11.11. - 9.12.2019	November	0,068	0,045	0,082	0,060	0,073	0,079
9.12.2019 - 7.1.2020	December	0,078	0,045	0,074	0,058	0,068	0,072
Letna doza (mSv):		0,95	0,63	1,03	0,77	0,94	1,04

4.2.3 Zrak

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

2019		Koncentracija [Bq/m ³]						
Lokacija	7.1. - 1.4.2019	Uteženo povprečje	1.4. - 8.7.2019	Uteženo povprečje	8.7. - 30.9.2019	Uteženo povprečje	1.10. - 7.1.2020	Uteženo povprečje
D1 - 10 m od vrat CSRAO	21 ± 3	20,0 ± 2,1	22 ± 3	17,2 ± 1,7	16 ± 2	17,5 ± 1,7	26 ± 4	27,5 ± 2,8
	19 ± 3		15 ± 2		21 ± 3		29 ± 4	
D2 - Ograja RC	27 ± 4	30,5 ± 3,1	24 ± 4	24 ± 4	21 ± 3	20,5 ± 2,1	24 ± 4	22,7 ± 2,4
	36 ± 5		53* ± 8		20 ± 3		22 ± 3	
D3 - Nad CSRAO	24 ± 4	22,1 ± 2,4	14 ± 2	8,4 ± 0,9	26 ± 4	16,4 ± 1,8	25 ± 4	23,1 ± 2,4
	21 ± 3		7 ± 1		14 ± 2		22 ± 3	

* Meritev ni bila upoštevana pri izračunu povprečja.



4.2.4 Voda (podtalnica)

Tabela 7: *Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih vode iz vrtin (severna vrtina P1 in južna vrtina P2). Meritvi je opravil IJS.*

Oznaka vzorca:	RA19-VRP1-61 Severna vrtina 13. 6. 2019	RA19-VRP2-61 Južna vrtina 13. 6. 2019
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	4,7E+00 ± 2,3E+00	3,6E+00 ± 6,1E-01
K-40	3,2E+01 ± 3,1E+00	5,0E+01 ± 3,6E+00
Pb-210	< 4,2E+00	8,9E+00 ± 8,3E-01
Ra-226	1,3E+00 ± 5,9E-01	2,7E+00 ± 3,8E-01
Ra-228	1,8E+00 ± 4,8E-01	2,2E+00 ± 2,2E-01
Th-228	5,2E-01 ± 2,1E-01	2,0E+00 ± 1,3E-01
U-238	7,6E+00 ± 5,9E+01	4,6E+00 ± 8,1E-01

4.2.5 Meritve kontaminacije tal

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

	HPGe –IJS (ELME) 11. 11. 2019	3×3" NaI(Tl) – ARAO 11. 11. 2019
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	11 ± 5	–
K-40	287 ± 47	298 ± 60
Cs-137	19 ± 4	21 ± 6
Ra-226 (Bi-241)	39 ± 6	37 ± 15
Ra-228	31 ± 4	–
Th-228	32 ± 4	33 ± 10
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m²)	
Be-7	330 ± 100	–
Cs-137	680 ± 110	613 ± 184



4.2.6 Talni used

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

Oznaka vzorca:	RA19-PV1-M1 7. 1. 2019 – 7. 1. 2020
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	6,5E+02 ± 3,3E+01
K-40	3,4E+00 ± 7,8E-01
Cs-137	1,7E-01 ± 3,4E-02
Pb-210	6,5E+01 ± 2,8E+00
Ra-226	6,6E-01 ± 1,8E-01
Ra-228	2,0E-01 ± 1,2E-01
Th-228	2,5E-01 ± 5,4E-02
U-238	< 8,8E-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: $F = EEC / \text{Konc.}_{Rn-222}$



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	4,0
Cr-51	8,0
Mn-54	0,45
Co-57	0,27
Co-58	0,33
Fe-59	0,72
Co-60	0,16
Zn-65	0,6
Zr-95	0,4
Nb-95	0,54
Ru-103	0,57
Ru-106	3,0
Sb-124	0,27
Sb-125	0,7
I-131	5,7
Cs-134	0,17
Cs-136	0,9
Cs-137	0,33
Ba-140	1,2



4.5 NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti so bile v letu 2019 izvedene primerjave meritev vode iz podzemnega rezervoarja med ZVD in IJS. Rezultati primerjave meritev VLG so podani v tabeli (Tabela 11).

Tabela 11: Primerjalne meritve vzorca odpadne vode iz podzemnega rezervoarja CSRAO odvzetega dne 26. 6. 2019.

Izotop	Meritve ZVD			Meritve IJS			M _{IJS} /M _{ZVD}	u-test
	[Bq/m ³]			[Bq/m ³]				
Be-7	2,10E+01	±	1,60E+00		<	1,20E+00	-	-
K-40	1,40E+02	±	5,40E+00	1,40E+02	±	7,20E+00	1,00	0,00
Cs-137		±		3,30E-01	±	5,70E-02	-	-
Pb-210	9,70E+00	±	2,20E+00	4,00E+00	±	5,70E-01	0,41	2,51
Ra-226	7,80E-01	±	2,50E-01	9,10E-01	±	2,00E-01	1,17	0,41
Ra-228		±		8,00E-01	±	4,20E-01	-	-
Th-228		±		8,00E-01	±	4,20E-01	-	-
U-238		<	8,20E+00	2,00E+00	±	5,70E-01	-	-

Rezultate meritev smo primerjali med seboj z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|M_{IJS} - M_{ZVD}|}{\sqrt{u_{IJS}^2 + u_{ZVD}^2}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_{IJS} in u_{ZVD} negotovosti meritev. Zaradi nizkih aktivnosti (na meji detekcije) in posledično velikih merilnih negotovosti, je težko primerjati vse izmerjene vrednosti. Dejansko je mogoča primerjava le K-40, kjer je ujemanje odlično. Dobro ujemanje je tudi pri Ra-226 (odstopanje 17 %). Slabše ujemanje je pri Pb-210 in pri Be-7. ZVD radionuklidov torijevega niza in Cs-137 ni izmeril, zato primerjava ni bila mogoča.

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-2019 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Seaweed and Water

V letu 2019 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 morskih alg določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in morskih alg z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Obenem je IJS sodeloval tudi pri testu homogenosti teh vzorcev. Individualna poročila smo prejeli oktobra 2019.

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 010 za Odsek F-2) in primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in v



vzorcu morskih alg.

Vsi rezultati so sprejemljivi, razen za U-238 v vzorcu vode IARMA-082 (Warning). Tu je bila naša poročana vrednost za 21,7 % višja (Z-test = 2,2). V ostalih dveh vzorcih je bil rezultat za U-238 sprejemljiv in sicer v vzorcu IARMA-083 za 4,2 % višji (Z-test = 0,4) in v vzorcu IARMA-084 za 14,4 % nižji (Z-test = -1,4), kar pomeni, da sistematskih razhajanj ni. Rezultat za U-238 v vzorcu IARMA-082 smo poročali s precej manjšo negotovostjo, kar je tudi razlog za opozorilo (Z-test = 2,2). Pri ostalih radionuklidih so vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2019 Sample IARMA-082, Water Sample analize IJS opravljene <i>julija 2019</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Ba-133	1,35 ± 0,04	1,31 ± 0,06	-3,0	-0,3	A
Cs-137	0,90 ± 0,03	0,91 ± 0,04	1,1	0,1	A
Eu-152	3,26 ± 0,10	3,29 ± 0,10	0,9	0,1	A
Th-232	2,36 ± 0,07	2,56 ± 0,11	8,5	0,8	A
U-238	2,30 ± 0,10	2,80 ± 0,60	21,7	2,2	W
Am-241	1,80 ± 0,05	1,81 ± 0,10	0,6	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2019 Sample IARMA-083, Water Sample analize IJS opravljene <i>julija 2019</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Ba-133	3,13 ± 0,10	3,11 ± 0,15	-0,6	-0,1	A
Cs-137	1,69 ± 0,05	1,69 ± 0,05	0,0	0,0	A
Eu-152	6,46 ± 0,20	6,44 ± 0,22	-0,3	0,0	A
Th-232	7,68 ± 0,23	8,12 ± 0,24	5,7	0,6	A
U-238	7,20 ± 0,30	7,50 ± 1,00	4,2	0,4	A
Am-241	1,80 ± 0,05	1,91 ± 0,15	6,1	0,6	A



IARMA ERAD-PT-2019 Sample IARMA-084, Water Sample analize IJS opravljene <i>julija 2019</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Ba-133	7,76 ± 0,23	7,69 ± 0,23	-0,9	-0,1	A
Cs-137	5,50 ± 0,16	5,60 ± 0,17	1,8	0,2	A
Eu-152	13,49 ± 0,40	13,20 ± 0,40	-2,1	-0,2	A
Th-232	7,66 ± 0,23	7,90 ± 0,27	3,1	0,3	A
U-238	9,00 ± 0,50	7,70 ± 1,70	-14,4	-1,4	A
Am-241	5,91 ± 0,18	6,27 ± 0,30	6,1	0,6	A

IARMA ERAD-PT-2019 Sample IARMA-081, Seaweed Sample analize IJS opravljene <i>junija in julija 2019</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
K-40	1420 ± 40	1420 ± 40	0,0	0,0	A
Ba-133	8,70 ± 0,40	8,98 ± 0,27	3,2	0,3	A
Cs-137	3,27 ± 0,15	3,88 ± 0,20	18,7	1,9	A
Eu-152	5,84 ± 0,25	6,09 ± 0,25	4,3	0,4	A
Am-241	3,28 ± 0,15	3,31 ± 0,25	0,9	0,1	A

4.6.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, shrimp and simulated aerosol filter samples, IAEA-TEL-2019-04

V maju 2019 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec rakcev in 3 vzorce simuliranih aerosolnih filtrov 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 oktobra 2019 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 91 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2019-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2019*].

V naslednjih 6 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 91 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 3 je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za ta vzorec. ζ-test in relativno odstopanje za ta vzorec smo določili sami. Vzorec vode št. 2 in vzorec rakcev št. 4 sta vsebovala umetne in naravne radionuklide v nizkih koncentracijah.



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

Glavni namen te interkomparacije je bil, da bi sodelujoči laboratoriji odkrili neravnovesje pri radionuklidih iz torijevega razpadnega niza ter bi pri izračunih uporabili ustrezne korekcije. To informacijo smo sodelujoči laboratoriji prejeli po poročanju rezultatov in sicer ko smo prejeli individualne rezultate interkomparacije. Neravnovesje v torijevem razpadnem nizu so dosegli tako, da so pri pripravi teh vzorcev dodali radionuklida Ra-228 in Ra-224, ki so ju kemijsko separirali iz naravnega torija. Takoj po separaciji Th-228 ni bilo v vzorcu. Zaradi dodanega Ra-224 radionuklidi iz torijeve razpadne verige niso bili v ravnovesju. Vsebnost Th-228 je v tem vzorcu naraščala zaradi razpada Ac-228 v Th-228 z razpadnim časom 5,75 let, kar pomeni, da bo v ravnovesju z Ra-228 okoli 20 let po separaciji. V času, ko smo prejeli vzorec, je kratkoživi Ra-224, ki je bil dodan, skoraj v celoti razpadel in Th-228 je bil v ravnovesju s svojimi potomci. V tem primeru velja, da sta Ra-228 in Ac-228 v sekularnem ravnovesju in razpadata skladno z razpadnim časom Ra-228, kar pa ne velja za Th-228 in njegove kratkožive potomce, kjer pride do dodane aktivnosti (in-growing) zaradi razmerja razpadnih časov Th-228 in Ra-228.

Tako kot skoraj vsi sodelujoči laboratoriji (le en laboratorij je pri tej interkomparaciji imel sprejemljive rezultate za Tl-208, Pb-212 in Bi-212 v vzorcu vode št. 1) IJS neravnovesja v torijevi razpadni verigi ni opazil in posledično ni opravil pričakovanih korekcij. Tako neravnovesje radionuklidov ni značilno za okoljske vzorce, zato v analizno proceduro niso vgrajene varovalne kontrole. Naši rezultati so primerljivi z rezultati ostalih laboratorijev, ki so poročali te radionuklide.



REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TEL-2019-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja, junija, avgusta in septembra 2019</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	9,3 ± 0,3	9,6 ± 0,3	3,23	0,71	0,46	A
Cs-137	8,92 ± 0,25	8,7 ± 0,3	-2,47	-0,56	0,55	A
Tl-208	0,29 ± 0,07	1,4 ± 0,1	382,8	9,06	3,08	N
Pb-212	0,8 ± 0,2	3,7 ± 0,2	362,8	10,25	2,82	N
Pb-214	7,5 ± 0,25	8,2 ± 0,5	9,33	1,25	0,30	A
Bi-214	7,5 ± 0,25	7,8 ± 0,8	4,00	0,36	0,12	A
Ra-226	7,5 ± 0,25	8,2 ± 0,9	9,33	0,75	0,47	A
Ra-228	22,08 ± 1,0	21,6 ± 0,7	-2,17	-0,39	0,38	A

IAEA-TEL-2019-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>junija in avgusta 2019</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	5,05 ± 0,15	4,7 ± 0,2	-6,93	-1,40	1,00	A
Cs-137	4,19 ± 0,12	4,3 ± 0,2	2,63	0,47	0,50	A
Pb-214	1,4 ± 0,07	1,6 ± 0,2	14,29	0,97	0,20	A
Bi-214	1,4 ± 0,07	1,6 ± 0,2	14,29	0,97	0,17	A
Ra-226	1,40 ± 0,07	1,6 ± 0,2	14,29	0,97	0,36	A
Ra-228	3,98 ± 0,12	4,1 ± 0,2	3,02	0,51	0,33	A



IAEA-TEL-2019-04 Sample 04, Shrimp sample analize IJS opravljene <i>maja in junija 2019</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
K-40	335 ± 12	340 ± 10	1,49	0,32	0,15	A
Cs-137	0,21 ± 0,04	0,25 ± 0,1	19,05	0,37	0,25	A
Tl-208	2,40 ± 0,14	3,1 ± 0,1	29,17	4,07	0,91	W
Pb-210	1,6 ± 0,1	2,6 ± 0,8	62,5	1,24	0,23	N
Pb-214	6,0 ± 0,6	14,2 ± 2,1	136,7	3,75	5,70	N
Bi-214	6,0 ± 0,6	14 ± 2	133,3	3,83	4,62	N
Ra-228	17,7 ± 0,9	18,1 ± 0,5	2,26	0,39	0,19	A

IAEA-TEL-2019-04 Sample 05, Simulated aerosol filter analize IJS opravljene <i>od maja do julija 2019</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Cs-134	10,71 ± 0,32	10,5 ± 0,3	-1,96	-0,48	0,15	A
Cs-137	13,25 ± 0,4	13,1 ± 0,4	-1,13	-0,27	0,10	A

IAEA-TEL-2019-04 Sample 06, Simulated aerosol filter analize IJS opravljene <i>od maja do julija 2019</i> individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Cs-134	20,28 ± 0,61	20,1 ± 0,6	-0,89	-0,21	0,07	A
Cs-137	13,02 ± 0,4	13,0 ± 0,4	-0,15	-0,04	0,01	A



IAEA-TEL-2019-04 Sample 07, Simulated aerosol filter analize IJS opravljene <i>maja in junija 2019</i> individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2019</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 91	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Cs-134	6,37 ± 0,25	6,4 ± 0,2	0,47	0,09	0,03	A
Cs-137	24,93 ± 0,75	25,4 ± 0,8	1,89	0,43	0,17	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 2019, ARAO 09-01-002/ME/20-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
- In-situ kalibracija NaI(Tl) spektrometra NANOSPEC, ARAO-T1511-3/6
- Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1) (Ur.l. RS št. 76/17)
- Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (SV5, Uradni list RS št. 47/18).
- Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (stari pravilnik SV5)
- Protection against Radon-222 at Home and at Work (ICRP Publication 65)
- **Seznam pomembnih dokumentov akreditiranega laboratorija LMR na IJS:**

Organizacijski postopki

- LMR-OP-04/06* Organizacija laboratorija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti
- LMR-OP-05/09* Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za meritve radioaktivnosti
- LMR-OP-06/08* Izvedba programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju

Delovna navodila

- LMR-DN-05/05* Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod
- LMR-DN-06/11* Priprava sušine vzorcev vode
- LMR-DN-08/08* Priprava vzorcev za viskoločljivostno spektrometrijo gama



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

Kontrolni postopki

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

Računski postopki

<i>LMR-RP-01/02</i>	Ocena sevalnih obremenitev
<i>LMR-RP-02/00</i>	Struktura direktorijev in kratek opis datotek na delovni postaji Alpha
<i>LMR-RP-03/00</i>	Program za analizo meritev na VLG na delovni postaji <i>Alpha</i>
<i>LMR-RP-04/01</i>	Seznam in kratek opis algoritmov za analizo spektrov na VLG
<i>LMR-RP-05/03</i>	Ocena merilne negotovosti

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

Organizacijski postopki

<i>TLD-OP-01/03</i>	Opis del in nalog osebja v <i>Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo</i>
---------------------	--

Delovna navodila

<i>TLD-DN-01/09</i>	Priprava, izdaja in sprejem termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)
<i>TLD-DN-02/11</i>	Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)
<i>TLD-DN-03/09</i>	Izpisovanje, dokumentiranje in arhiviranje poročil o TL dozah

Kontrolni postopki

<i>TLD-KP-03/04</i>	Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov
---------------------	--

Računski postopki

<i>TLD-RP-01/03</i>	Kratek opis metode za čitanje doz s TL analizatorjem IJS MR 200 (C)
<i>TLD-RP-02/03</i>	Ocena merilne negotovosti pri čitanju doz s TL analizatorjem IJS MR 200 (C)