

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-13453  
Ljubljana, februar 2021

# Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2020

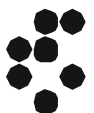


*Izvajalca meritev:*

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 2020

*Odgovorni nosilec naloge:* dr. Marijan Nečemer

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

*Štev. del. poročila IJS:* IJS-DP-13453

*Štev. projekta ARAO:* 09-01-002

*Štev. pogodbe ARAO:* ARAO P010/2020

*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. Boštjan Zalar		

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



IJS-DP-13453  
februar 2021

**NASLOV POROČILA:**

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –  
Poročilo za leto 2020

**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 2020 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,03  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

---

IJS-Report-13453  
February 2021

**REPORT TITLE:**

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –  
Report for the year 2020

**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 2020 the effective dose is conservatively estimated to 0.03  $\mu\text{Sv}$  per year for the reference person (local farmer).



**VSEBINA**

<b>1</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Ovrednotenje meritev .....</b>	<b>5</b>
2.1	POVZETEK .....	5
2.2	VZORČEVALNA MESTA .....	6
2.3	EMISIJE .....	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.....	17
<b>3</b>	<b>Ocena vpliva na okolje.....</b>	<b>17</b>
3.1	Atmosferski izpusti .....	17
3.2	Tekočinski izpusti.....	19
3.3	Ocena prejete doze .....	19
<b>4</b>	<b>Merski rezultati .....</b>	<b>21</b>
4.1	Program obratovalnega monitoringa.....	21
	(A) - Meritve emisij .....	21
	(B) - Meritve imisij .....	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.....	25
4.2.3	Zrak.....	25
4.2.4	Voda (podtalnica) .....	26
4.2.5	Meritve kontaminacije tal .....	26
4.2.6	Talni used .....	27
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 .....	29
4.6.1	International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo.....	29
4.6.2	IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija .....	32
4.7	Referenčna dokumentacija .....	35



## 1 UVOD

V poročilu so podani in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju za leto 2020. 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 zunanega 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 2020 je ARAO in na območju v skladiščnem prostoru CSRAO opravljal rutinska opravila kot so vnosi in iznosi paketov RAO, pregledi in preizkusi ter vzdrževanje sistemov in komponent, priprava RAO na obdelavo v OVC, nadzorne meritve sevanja, sodelovanje pri inšpekcijskem nadzoru.

Razstavljali so ionizacijske javljalnike požara. V OVC so razstavili preko 3000 naprav, radioaktivni deli naprav so bili uskladiščeni, neradioaktivni pa odstranjeni. Dejavnost se je začela decembra 2019 in končala julija 2020. Priprava šarž je potekala v CSRAO.

Avgusta je v CSRAO potekala priprava pošiljke za odvoz ionizacijskih javljalnikov požara v reciklažo v tujino. Naprave so vsebovale radionuklid Am-241. Dela so potekala na interni transportni poti v bližini tovornih vrat, na t. i. razkladalnem prostoru. Pošiljka je bila odpeljana v začetku oktobra.

V okviru letnih pregledov skladiščenih paketov so bili v avgustu premeščani in pregledani vsi paketi, skladiščeni v prekatu 1 in prekatu 5. Julija in avgusta sta bila zaradi izgube integritete zunanje embalaže dva paketa vstavljena v površnik. Ob tem je bilo preventivno pregledano stanje vsebine in zunanje embalaže še pri osmih paketih istega povzročitelja odpadkov.

V mesecu oktobru ter novembru so bila opravljena popravila tlaka transportne poti v CSRAO. Dela so potekala v dveh fazah in so obsegala zaščito prostora proti prašenju, lokalno zamenjavo tlaka, iznos izgrajenega materiala ter končno čiščenje. Vsa voda, ki je bila uporabljena pri čiščenju, je bila izpuščena v podzemni zbiralnik. Dela so opravljali delavci zunanjega izvajalca, ARAO pa je izvajal varstvo delavcev pred sevanji. Delo je potekalo tekoče, brez večjih posebnosti.



## 2 OVREDNOTENJE MERITEV

### 2.1 POVZETEK

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

#### Emisije

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

Na podlagi opravljenih meritev smo ocenili, da je bila povprečna letna hitrost izpuščanja radona iz skladišča okoli 10 Bq/s. Izpusti ostajajo podobni že nekaj let. 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 0,31 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 od umetnih radionuklidov zaznan le Cs-137, ki je posledica globalne kontaminacije.

#### Imisije

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

#### Ocena izpostavitve

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

**Efektivna letna doza zaradi vdihavanja radona in potomcev, ki jo je po tem modelu prejel okoliški kmet, je 0,03  $\mu$ Sv. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Rektorskem centru, je okoli 1  $\mu$ Sv. Na podlagi teh ocen lahko zaključimo, da je bilo tveganje za prebivalstvo zanemarljivo.**





## 2.2 VZORČEVALNA MESTA

Na sliki 1 so podane lokacije vzorčenja iz programa nadzora radioaktivnosti za leto 2020.



**Slika 1:** Shematski prikaz vzorčevalnih mest



## 2.3 EMISIJE

### 2.3.1 VODA (podzemni zbiralnik)

Vzorčenje odpadne vode poteka iz podzemnega zbiralnika, ki je bil zgrajen na lokaciji (slika 1, lokacija O1) ob pomožnem objektu. V njem se zbira odpadna sanitarna voda iz umivalnice prostorov za osebje in kondenzat sušenja zraka iz skladiščnega prostora objekta CSRAO. Vzorčenje in meritve vode v podzemnem zbiralniku je opravil IJS v avgustu 2020 in v januarju 2021. Tekočinska vzorca (~50 L) sta bila analizirana 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 do 0,7 Bq/m<sup>3</sup>. V preteklih letih smo izmerili zelo podobne aktivnosti, ki so primerljive s podatki o koncentracijah Cs-137 v površinskih vodah ali v pitni vodi iz vodovoda.

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 zbiralniku nismo zaznali niti prisotnosti Co-60, ki se je občasno pojavljal v teh vzorcih.

Koncentracije večine naravnih radionuklidov v podzemnem zbiralniku so običajne za površinske ali podzemne vode v naravnem okolju. V enem vzorcu izstopa K-40, katerega izmerjena aktivnost v letu 2020 je bila 430 Bq/m<sup>3</sup>. Nekoliko višja koncentracija aktivnosti K-40 je verjetno povezana z čiščenjem objekta po zamenjavi tlakov, saj so bili ostanki čiščenja sprani 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 22. 6. 2020 do 8. 7. 2020 ter v zimskem obdobju od 18. 12. 2020 do 5. 1. 2021. Merilnika sta bil nameščen med prekatoma 3 in 4. Odstopanje med meritvami ARAO in ZVD so bila v okviru merilne negotovosti.

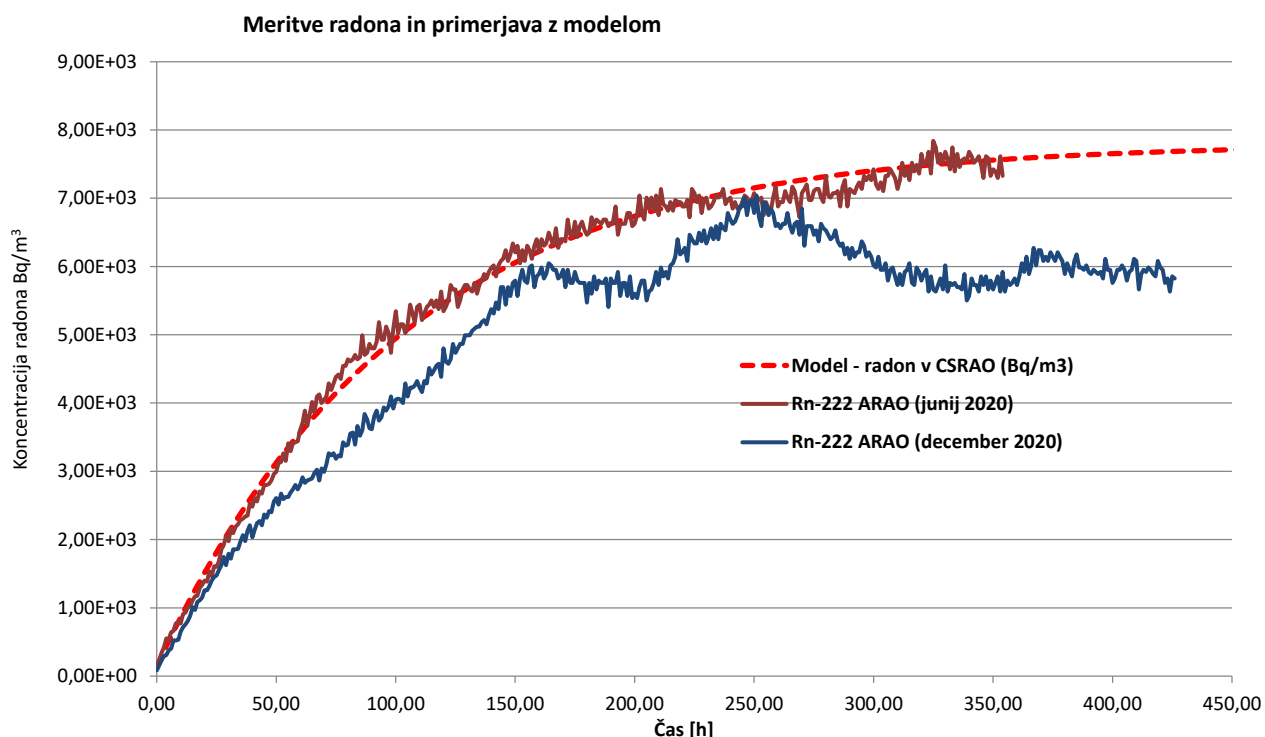
V zimskem obdobju v letu 2020 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okoli 6000 Bq/m<sup>3</sup> z največjo izmerjeno vrednostjo 7040 Bq/m<sup>3</sup> (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih je bila višja in sicer okoli 7500 Bq/m<sup>3</sup> z največjo izmerjeno vrednostjo 7840 Bq/m<sup>3</sup>. V zimskem obdobju je bila izmerjena ravnovesna koncentracija manj zanesljiva zaradi nestabilnih vremenskih pogojev (nihanja v zračnem tlaku). Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanjšega 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. Kadar skladiščni prostor daljši čas ni bil prezračevan, je bila pred letom 2004 običajna koncentracija radona do 8000 Bq/m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup>. Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij in boljše tesnosti objekta CSRAO. Leta 2008 je potekal projekt prepakiranja RAO ("Izboljšanje ravnanja z institucionalnimi RAO v Sloveniji"). V okviru projekta so bili prepakirani tudi radijevi odpadki. Radij, ki je bil vzrok za visoke koncentracije radona, je bil hermetično zavarjen v novo embalažo. Najpomembnejše je bilo prepakiranje sode, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračevanem skladiščnem prostoru po tem letu padla pod 6000 Bq/m<sup>3</sup>.

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



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

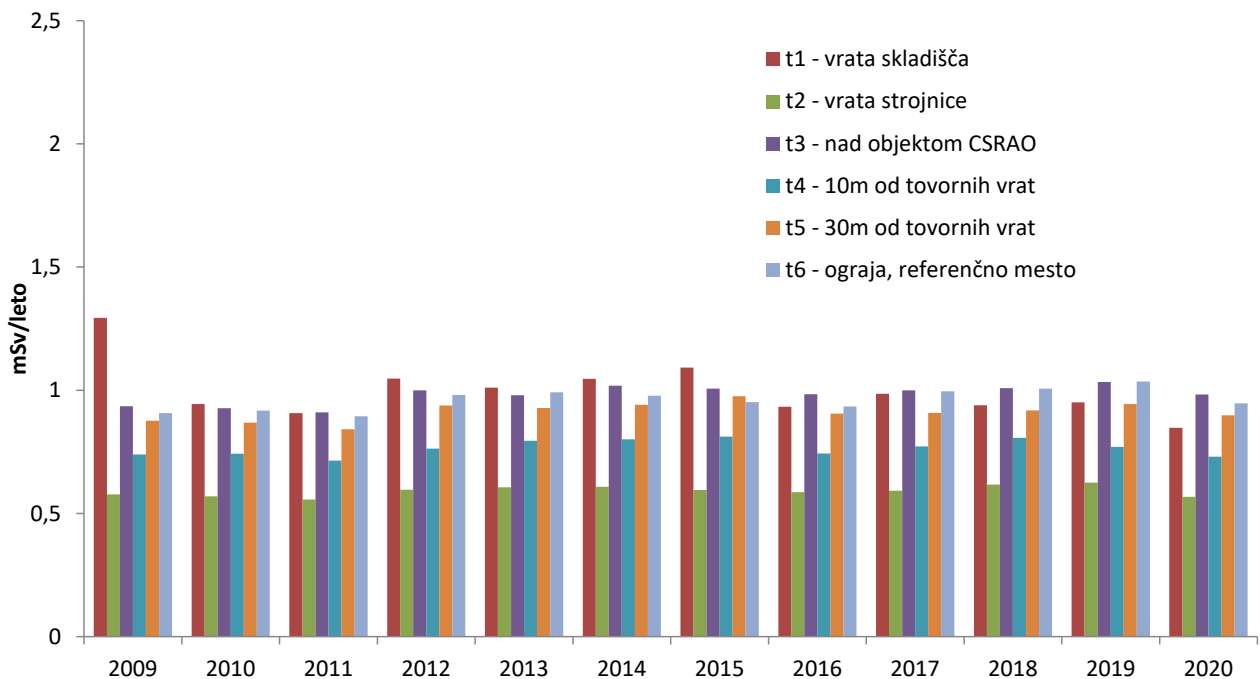


## 2.4 MERITVE V OKOLJU

### 2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

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

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze  $H^*(10)$ ) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,85 mSv (0,95 mSv v letu 2019), nekoliko višja pa na strehi CSRAO 0,98 mSv (1,03 mSv v letu 2019). 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  $\mu$ 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.



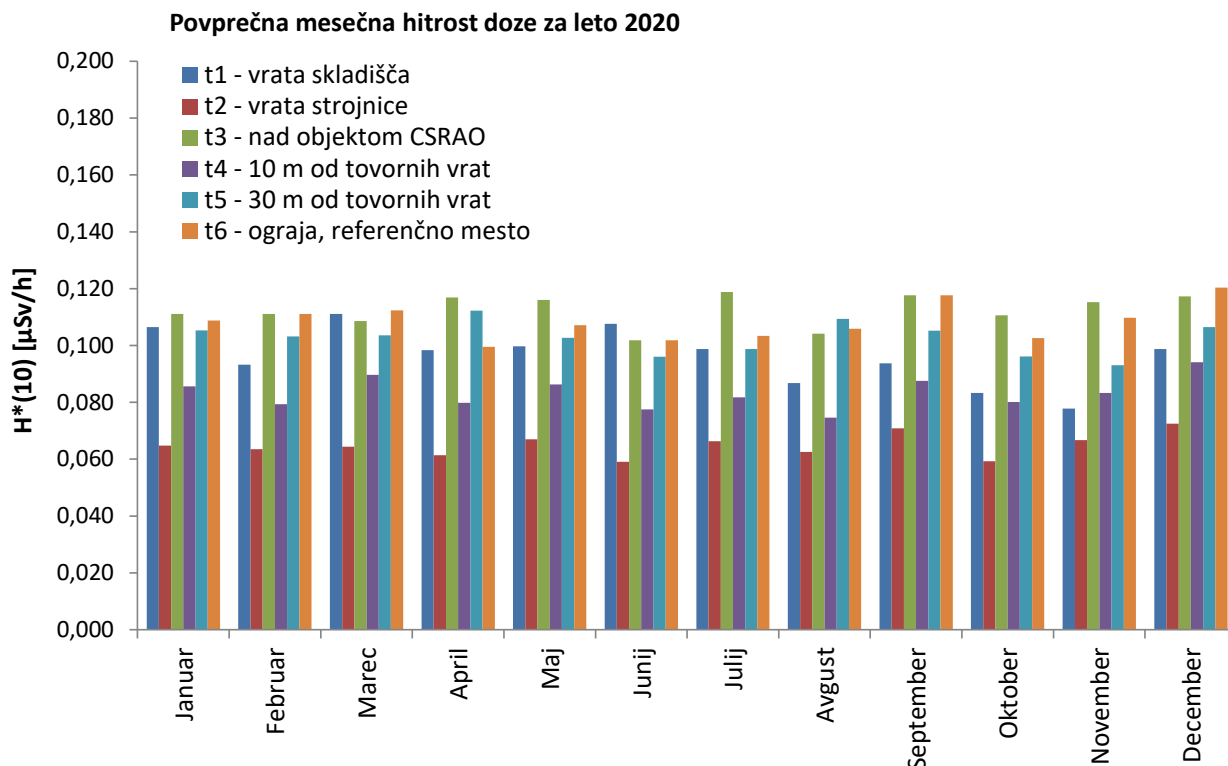
**Graf 2:** Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letne doze)

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 mesečna povprečna hitrost doze 0,118  $\mu$ Sv/h v septembru, na strehi skladišča. Na transportnih vratih je bila povprečna hitrost doze v vseh mesecih nižja (največ 0,111  $\mu$ Sv/h v marcu). Na ograji na referenčni lokaciji so bile hitrosti doze primerljive z meritvami na strehi skladišča (največ 0,120  $\mu$ Sv/h v decembru). 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 0,73 mSv (0,77 mSv v letu 2019) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 0,95 mSv (1,04 mSv mSv v letu 2019). Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja zanemarljiv.



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

V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile do 0,053  $\mu\text{Sv/h}$  na asfaltni površini pred objektom CSRAO, pa do največ 0,120  $\mu\text{Sv/h}$  na travniku v okolici objekta CSRAO. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.

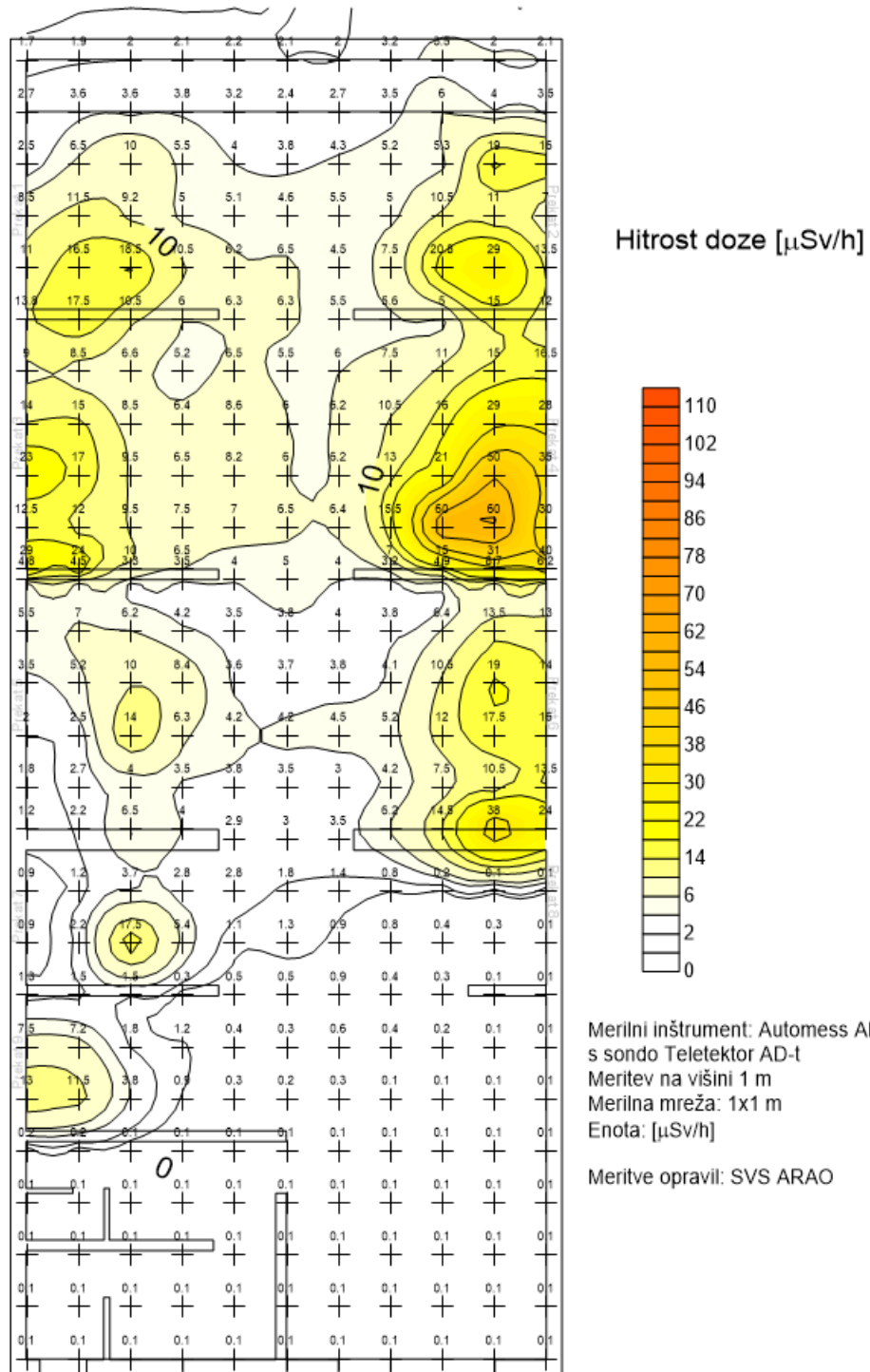
Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekati v skladiščnem prostoru so podobni kot v preteklem letu in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in optimalne razmestitve sodov. Sedaj se bolj aktivni sodi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



**Slika 2:** Rezultati meritev hitrosti doze  $H^*(10)$  [nSv/h] sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, predstavljeni s programsko opremo RouteMonitoring (oktober 2020).



## Dozno polje sevanja gama v CSRAO na Brinju stanje na dan 27.07.2020



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)

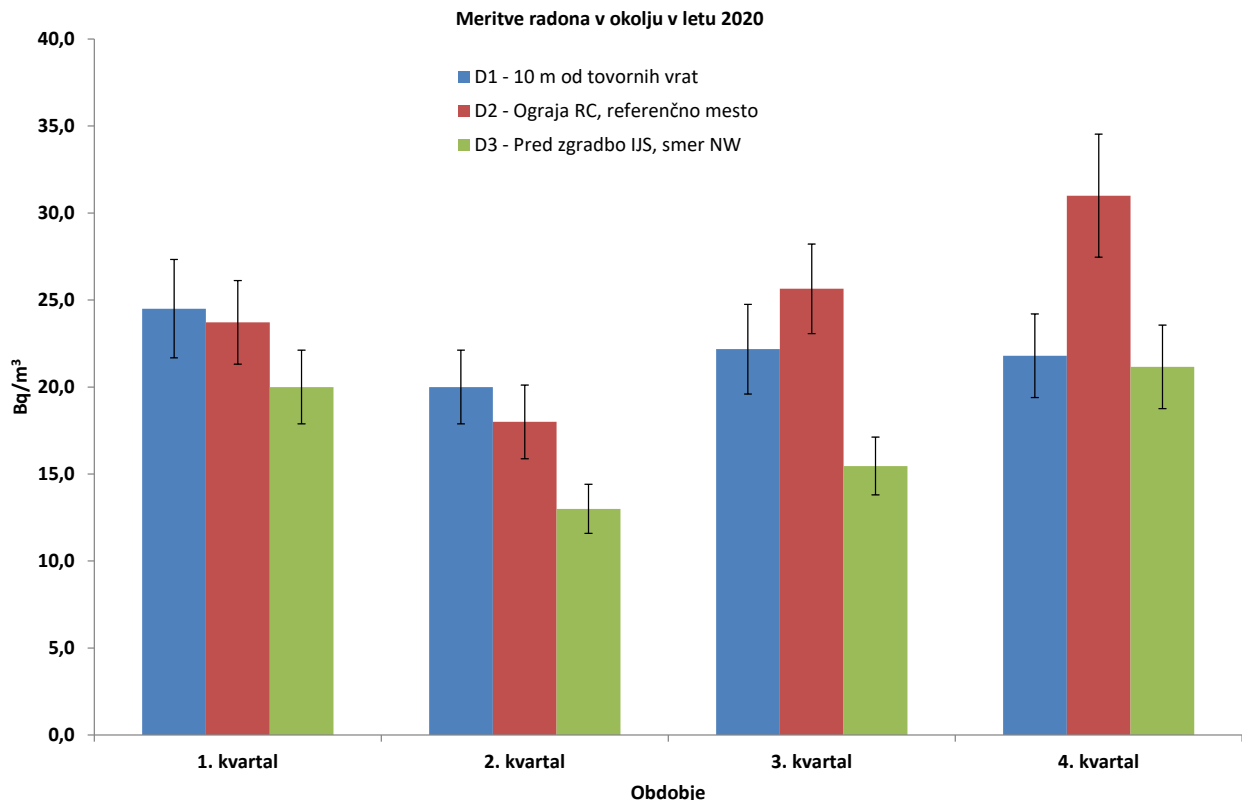
Meritve koncentracije radona v okolju se izvajajo z detektorji sledi (Rn etched-track detektorji), ki so integrirni merilniki. Detektorji sledi so bili nameščeni za obdobje treh mesecev (kvartalno). Meritve je izvajal ZVD na treh lokacijah (slika 1):

- 10 m od tovornih vrat (lokacija - D1);
- ograja RC, referenčno mesto (lokacija – D2);
- pred zgradbo IJS, smer NW (lokacija – D3).

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

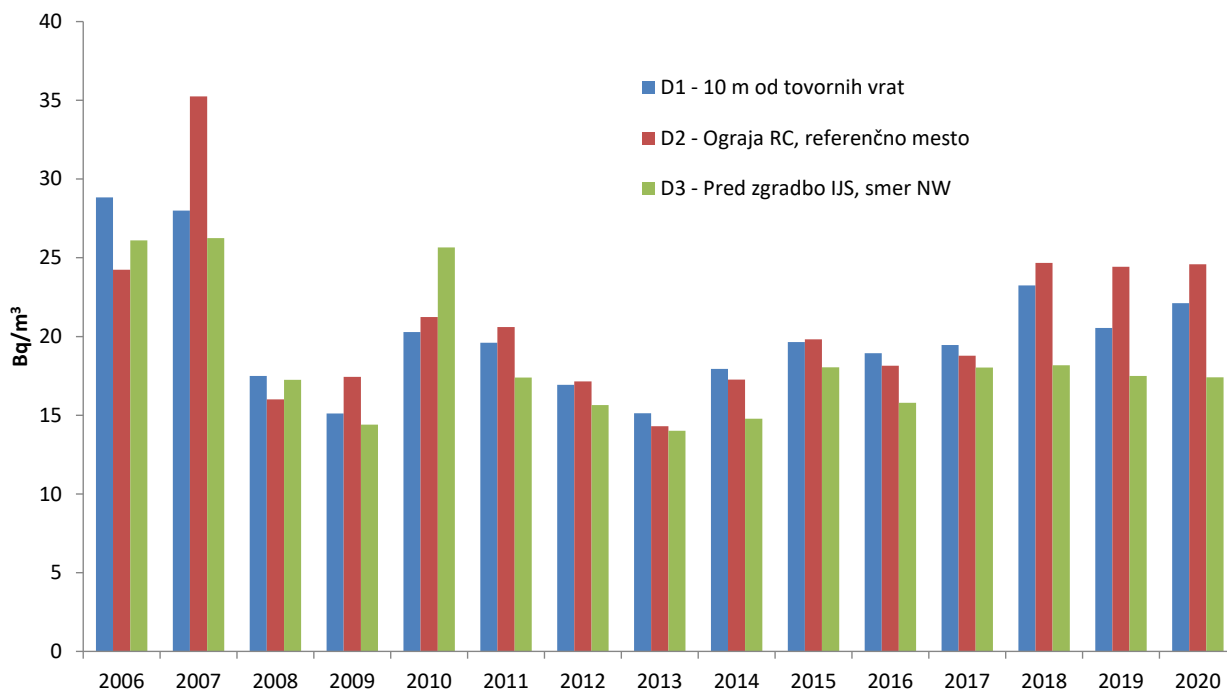
Zaradi inverznih vremenskih pogojev je pričakovano najvišja izmerjena koncentracija v zimskem obdobju. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji 10 m od tovornih vrat (D1) je bila  $(22 \pm 1)$  Bq/m<sup>3</sup>. Na lokaciji pred zgradbo IJS (D3) je bila povprečna koncentracija  $(17 \pm 1)$  Bq/m<sup>3</sup> in na referenčnem mestu (D2) je bila  $(25 \pm 1)$  Bq/m<sup>3</sup>. Že nekaj let zapored opažamo najvišje izmerjene koncentracije na referenčni lokaciji.

Vse povprečne vrednosti so primerljive z rezultati meritev iz preteklih let (graf 5, 15 Bq/m<sup>3</sup> – 35 Bq/m<sup>3</sup>).



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





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

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

### 2.4.3 VODA (podtalnica)

Vzorci vode podtalnice so bili vzeti na BSP2 - južni vrtini (slika 1, oznaka P2) in BSP1 - 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.



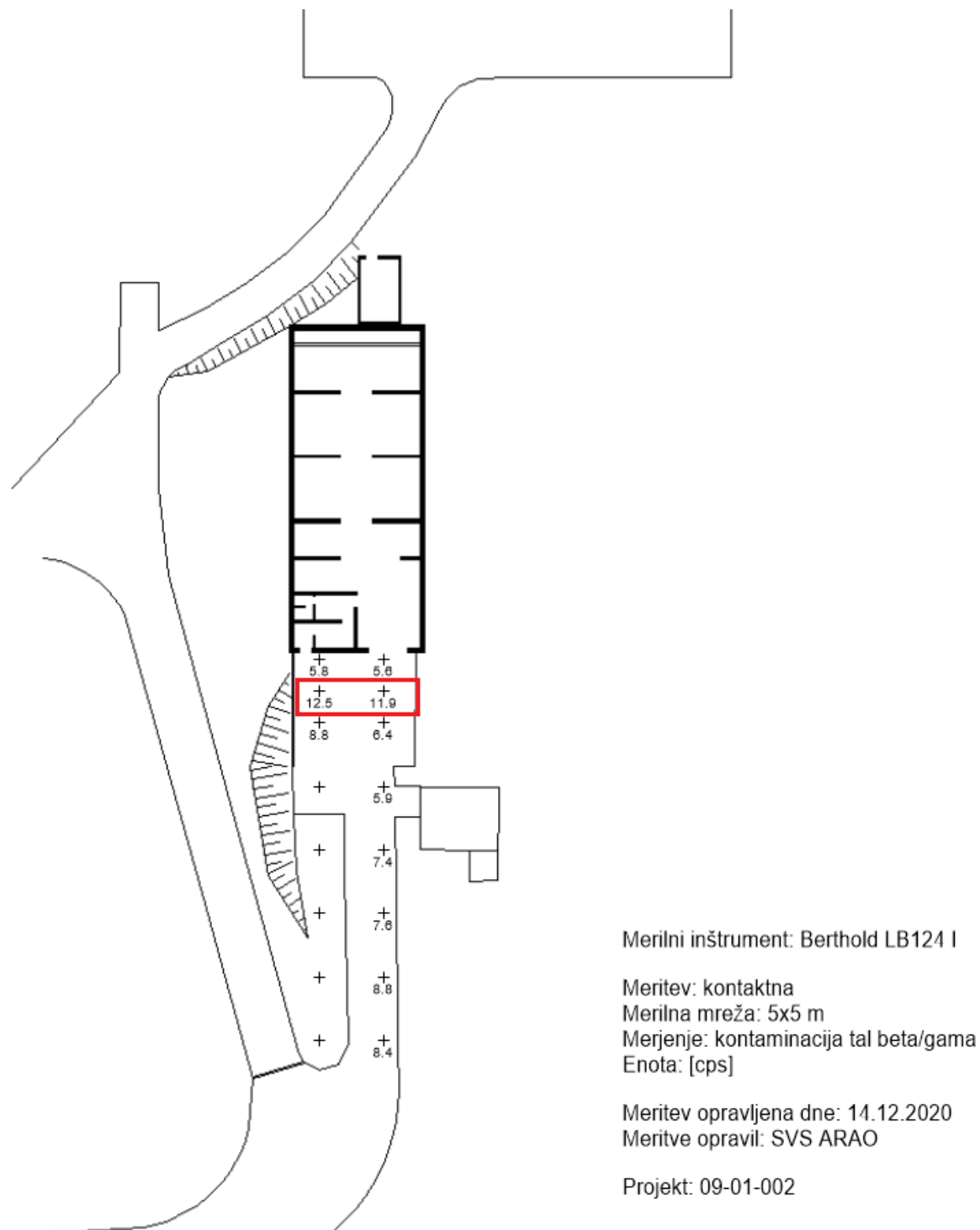
## 2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

### 2.5.1 MERITVE KONTAMINACIJE TAL

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

Rezultati meritev so podani v tabeli 8. Upoštevana je enakomerna porazdelitev naravnih radionuklidov v zemlji in predpostavka, da so naravni radionuklidi torijevega (Th-232, Ra-228, Th-228) in uranovega (U-238, Ra-226) razpadnega niza v ravnovesju. Rezultati za Cs-137 so podani tako za enakomerno porazdelitev, ki bolj ustreza trenutni globalni kontaminaciji (zelo star depozit, kjer je cezij precej enakomerno porazdeljen v zgornji plasti zemlje) in ločeno s predpostavko površinske kontaminiranosti (primer izrednega dogodka). Primerjava rezultatov meritev kaže dobro ujemanje med meritvami IJS in ARAO. Izmerjene vsebnosti naravnih radionuklidov in Cs-137 so običajne za naravno okolje. Zanimive so meritve ARAO na drugi lokaciji SV od pomožnega objekta, saj so bile izmerjene vrednosti za Cs-137 bistveno nižje od običajnih vrednosti v zgornji plasti zemlje. To je najverjetneje posledica preteklih gradbenih posegov v okolici skladišča.

ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije beta/gama na merilni mreži (slika 5). Rezultati meritev (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2020, 09-01-002/ME/21-SVS-1) kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije alfa. Na asfaltnih površinah je bilo zaznано le običajno naravno ozadje ( $6-9 \text{ s}^{-1}$ ). Minimalno višje vrednosti (slika 5, označeno z rdečo) so izmerili na kovinskih kanaletah in pokrovih jaškov, ki so narejeni iz drugega materiala.



**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. Najvišje vrednosti so izmerjene na kovinskih kanaletah in pokrovih jaškov.



## 2.5.2 TALNI USED

V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji Ograja, referenčno mesto, 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 180 Bq/m<sup>2</sup>, kar je nižje od običajnih izmerjenimi aktivnostmi, ki se gibljejo okoli 700 Bq/m<sup>2</sup>. 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 po modelu povprečna hitrost izpuščanja radona iz objekta 10 Bq/s ± 30 % in je 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).

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

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

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

$k$  Začetna strmina krivulje naraščanja koncentracije v odvisnosti od časa [Bq/m<sup>3</sup>/h],

$V$  ocenjena prostornina skladišča 750 m<sup>3</sup>.



Pri tem izračunu sicer zanemarimo vpliv puščanje skladišča in radioaktivni razpad radona vendar je sam izračun precej poenostavljen.

**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

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 predno 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.

Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 500 m<sup>2</sup> (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m<sup>2</sup>s).

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2020 ocenjujemo na približno **0,31 GBq/leto**, kar je v okviru negotovosti  $\pm 30\%$  primerljivo s preteklimi leti.

Pri 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 Bq/m<sup>3</sup> nad ozadjem (običajno ozadje je okoli 20 Bq/m<sup>3</sup>).



**Tabela 2:** Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 10 Bq/s.

Oddaljenost od vira (m):	10	30	50	100
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred D:	0,8	0,1	0,04	1,00E-02
$\chi$ – Koncentracija Radona (Bq/m <sup>3</sup> )	<b>7,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
$\chi$ – Koncentracija Radona (Bq/m <sup>3</sup> )	<b>17,5</b>	<b>2,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>

### 3.2 TEKOČINSKI IZPUSTI

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

### 3.3 OCENA PREJETE DOZE

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

Pri oceni prejete efektivne doze smo upoštevali dve prenosni poti:

- vpliv zunanjšega sevanja gama;
- inhalacijo radonovih potomcev.

Vpliv zunanjšega sevanja smo ovrednotili na podlagi rezultatov meritev TLD.

Vpliv radona in potomcev smo ocenili na podlagi ocenjenega povprečnega izpusta 10 Bq/s. Oceno prejete doze smo naredili za tri odrasle predstavnike referenčne skupine:

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

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





Pri izračunu doze smo upoštevali naslednje predpostavke:

1. Ocenimo, da je skupen čas zadrževanja na tej lokaciji 65 ur/leto za varnostnika in za okoliškega kmeta. Zaposleni na IJS se zadržuje v svoji pisarni v neposredni bližini 1700 ur/leto.
2. Predpostavimo, da se varnostnik-receptor ob rutinskem ogledu okolice skladišča zadržuje v povprečju 10 m od skladišča in da se okoliški kmet zadržuje na razdalji 50 m od skladišča. Za zaposlenega na IJS smo upoštevali oddaljenost 30 m od skladišča.
3. Predpostavimo Gaussov model redčenja ob konstantni smeri vetra (zelo konservativna predpostavka, glej poglavje *Atmosferski izpusti*). Upoštevamo, da so polovico časa razmere razreda D in polovico časa razmere razreda E. Pri varnostniku in okoliškem kmetu predpostavimo, da veter stalno piha v njuno smer s hitrostjo 1 m/s. V resnici je povprečna hitrost vetra višja. Pri zaposlenem na IJS predpostavimo, da veter piha le 30 % časa v smeri prostorov IJS.
4. Konservativno predpostavimo, da radonovi potomci iz skladišča deloma uhajajo v okolje. Tako smo uporabili ravnovesni faktor  $f = 0,1$  med radonom in potomci. Za zaposlenega na IJS upoštevamo ravnovesni faktor  $f = 0,3$  v zaprtem prostoru (pisarni).
5. Upoštevamo dozni pretvorbeni faktor  $DF$  iz koncentracije radonovih potomcev (EEC) v dozo za okoliškega kmeta in varnostnika IJS -  $7,87 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{ura})/\text{m}^3$ .  
 Faktor je dobljen iz produkta doznega pretvorbenega faktorja  $1,4 \text{ Sv}/(\text{J} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})$  za delovno okolje in pretvorbenega faktorja iz  $\text{Bq}/\text{m}^3$  EEC v  $\text{J}/\text{m}^3$  PAEC, ki je  $20,8 \mu\text{J}/3700 \text{ Bq}$ .  
 Podobno dobimo dozni faktor radonovih potomcev za pisarniškega delavca na IJS –  $6,1 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{ura})/\text{m}^3$ , kjer upoštevamo zaradi manjše hitrosti dihanja dozni pretvorbeni faktor  $1,1 \text{ Sv}/(\text{J} \cdot \text{h}/\text{m}^3)$ .  
 Upoštevamo, da je doza zaradi radona zanemarljiva, saj je ta delež približno 1 % doze radonovih potomcev.
6. Ocenjujemo, da je prispevek hitrosti doze zaradi zunanega sevanja iz skladišča na razdalji 10 m od CSRAO nemerljiv. Na referenčni lokaciji je namreč letna doza zaradi zunanega sevanja višja kot na razdalji 10 m od skladišča (glej rezultate meritev TLD).

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

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

	Varnostnik - receptor	Okoliški kmet	Delavec IJS
Oddaljenost (m):	10	50	30
Radonovi potomci ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	0,65	0,027	1,36
Zunanje sevanje ( $\mu\text{Sv}$ )	0	0	0
<b>Skupna efektivna doza (<math>\mu\text{Sv}/\text{leto}</math>)</b>	<b>0,7</b>	<b>0,03</b>	<b>1,4</b>



## 4 MERSKI REZULTATI

### 4.1 PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA

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

#### (A) - Meritve emisij

##### 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	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 2-krat letno, 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 zbiralnik)

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

Oznaka vzorca	RA20-VN1-81 11. 8. 2020
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
Be-7	8,7E+00 ± 9,0E-01
K-40	1,9E+02 ± 1,3E+01
Cs-137	5,4E-01 ± 1,1E-01
Pb-210	5,3E+00 ± 7,0E-01
Ra-226	1,5E+00 ± 2,7E-01
Th-228	< 6,2E-01
U-238	1,6E+00 ± 9,6E-01

Oznaka vzorca	RA21-VN1-11 5. 1. 2021
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
K-40	4,3E+02 ± 2,2E+01
Cs-137	7,2E-01 ± 1,2E-01
Pb-210	< 5,6E+00
Ra-226	2,6E+00 ± 8,8E-01
Ra-228	2,8E+00 ± 5,9E-01
Th-228	1,2E+00 ± 4,4E-01
U-238	< 6,4E+00



#### 4.2.2 Zunanje sevanje

**Tabela 5:** Doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2020. Meritve je izvedel IJS.

Datum	Mesec	t1 - vrata skladišča	t2 - vrata strojnice	t3 - nad objektom CSRAO	t4 - 10m od tovornih vrat	t5 - 30m od tovornih vrat	t6 - ograja, referenčno mesto
7.1. - 12.2. 2020	Januar	0,092	0,056	0,096	0,074	0,091	0,094
12.2. - 4.3.2020	Februar	0,047	0,032	0,056	0,040	0,052	0,056
4.3. - 6.4.2020	Marec	0,088	0,051	0,086	0,071	0,082	0,089
6.4. - 12.5.2020	April	0,085	0,053	0,101	0,069	0,097*	0,086
12.5. - 9.6.2020	Maj	0,067	0,045	0,078	0,058	0,069	0,072
9.6. - 15.7.2020	Junij	0,093	0,051	0,088	0,067	0,083	0,088
15.7. - 11.8.2020	Julij	0,064	0,043	0,077	0,053	0,064	0,067
11.8. - 4.9.2020	Avgust	0,050	0,036	0,060	0,043	0,063	0,061
4.9. - 14.10.2020	September	0,090	0,068	0,113	0,084	0,101	0,113
14.10. - 9.11.2020	Oktober	0,052	0,037	0,069	0,050	0,060	0,064
9.11. - 9.12.2020	November	0,056	0,048	0,083	0,060	0,067	0,079
9.12.2020 - 5.1.2021	December	0,064	0,047	0,076	0,061	0,069	0,078
<b>Letna doza (mSv):</b>		<b>0,85</b>	<b>0,57</b>	<b>0,98</b>	<b>0,73</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>

\* Dne 20.4.2020 je bil TLD na lokaciji 30 m od tovornih vrat najden na tleh.

#### 4.2.3 Zrak

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

2020		Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]						
Lokacija	7.1. - 30.3.2020	Uteženo povprečje	30.3. - 8.7.2020	Uteženo povprečje	8.7. - 30.9.2020	Uteženo povprečje	1.10. - 5.1.2021	Uteženo povprečje
D1 - 10 m od vrat CSRAO	25 ± 4	24,5 ± 2,8	22 ± 3	20,0* ± 2,1	19 ± 3	22,2 ± 2,6	20 ± 3	21,8 ± 2,4
	24 ± 4		18 ± 3		31 ± 5		25 ± 4	
D2 – Ograja, referenčno mesto	23 ± 3	23,7 ± 2,4	18 ± 3	18,0 ± 2,1	23 ± 3	25,6 ± 2,6	31 ± 5	31,0 ± 3,5
	25 ± 4		18 ± 3		33 ± 5		31 ± 5	
D3 - Nad objektom CSRAO	20 ± 3	20,0 ± 2,1	16 ± 2	13,0* ± 1,4	21 ± 3	15,5 ± 1,7	19 ± 3	21,2 ± 2,4
	20 ± 3		10 ± 2		13 ± 2		25 ± 4	

\* Dne 8. 4. 2020 je bil na tleh najden Rn detektor sledi in sicer na lokaciji D3 in dne 11. 5. 2020 detektor na lokaciji D1 - 10 m od tovornih vrat.





#### 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:	RA20-VRP1-61 BSP1 - Severna vrtina 9. 6. 2020	RA20-VRP2-61 BSP2 - Južna vrtina 9. 6. 2020
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
Be-7	5,1E+00 ± 1,0E+00	1,6E+00 ± 1,2E-01
K-40	3,4E+01 ± 3,0E+00	3,5E+01 ± 2,6E+00
Pb-210	< 9,0E+00	< 1,5E+01
Ra-226	6,6E-01 ± 3,1E-01	2,5E+00 ± 1,3E+00
Ra-228	1,6E+00 ± 6,6E-01	1,8E+00 ± 5,4E-01
Th-228	4,7E-01 ± 1,9E-01	9,9E-01 ± 1,6E-01
U-238	4,4E+00 ± 1,4E+00	3,3E+00 ± 1,9E+00

#### 4.2.5 Meritve kontaminacije tal

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

Lokacija:	Južno od pomožnega objekta	Južno od pomožnega objekta	SV od pomožnega objekta
	HPGe – IJS (ELME)	3×3" NaI(Tl) – ARAO	3×3" NaI(Tl) – ARAO
Datum meritev:	9. 11. 2020	9.11.2020	8.4.2020
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)		
Be-7	12 ± 3	–	–
K-40	278 ± 44	343 ± 69	305 ± 61
Cs-137	22 ± 4	21 ± 4	2 ± 2
Ra-226 (Bi-241)	54 ± 9	47 ± 14	30 ± 12
Ra-228	28 ± 4	–	–
Th-228	27 ± 4	33 ± 7	19 ± 6
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m <sup>2</sup> )		
Be-7	360 ± 100	–	–
Cs-137	760 ± 120	638 ± 128	59 ± 59



#### 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. 2020 – 5. 1. 2021
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>2</sup> )
Be-7	1,8E+02 ± 8,7E+00
K-40	2,7E+00 ± 4,1E-01
Cs-137	2,2E-01 ± 2,3E-02
Pb-210	6,6E+01 ± 3,3E+00
Ra-226	7,0E-01 ± 3,8E-01
Ra-228	3,2E-01 ± 8,9E-02
Th-228	3,5E-01 ± 6,6E-02
U-238	4,7E-01 ± 2,8E-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/m<sup>3</sup>.

#### ZEMLJA

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

#### ZUNANJA DOZA

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

#### ZRAK

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



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

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

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

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



#### 4.5 NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti so bile v letu 2020 izvedene primerjave meritev povprečne koncentracije radona v skladišču med ZVD, IJS in ARAO. Merilniki so bili postavljeni v Prekat 3. Rezultati primerjave meritev so podani v tabeli (Tabela 11).

**Tabela 11:** Primerjalne meritve povprečne koncentracije radona v obdobju od 22.6. do 8.7.2020 v CSRAO. Merske negotovosti so poročane s faktorjem pokritja  $k=1$ .

Merilnik	Začetek	Zaključek	Povprečna konc. Rn-222 [Bq/m <sup>3</sup> ]	M/M <sub>REF</sub>	u-test
Ref. vrednost (ELME AG01, št.:205 kalibriran v BFS):			5115 ± 409		
ALPHAGUARD (ELME AG01, št. 205)	22. 6. 2020 11:00	8. 7. 2020 11:00	5115 ± 409	1,00	–
ALPHAGUARD (AG ARAO, št. 1656)	22. 6. 2020 11:00	8. 7. 2020 11:00	5235 ± 419	1,02	0,21
ALPHAGUARD (AG ZVD, št. 1387)	22. 6. 2020 11:00	8. 7. 2020 11:00	5193 ± 467	1,02	0,13

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. Ujemanje meritev povprečne koncentracije radona je odlično, saj je odstopanje znotraj 2 %.

#### 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-2020 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Seaweed and Water

V letu 2020 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 januarja 2021.

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



Vsi rezultati so sprejemljivi. Vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti, sistematskih odklikov v eno smer nismo zaznali. Največje odstopanje je pri Am-241 v vzorcu vode IARMA-100 in v vzorcu morskih alg, v primeru vode je naša izmerjena vrednost za 16 % višja, pri morskih algah pa za 17,5 % nižja. Torej tudi pri Am-241 sistematskih razhajanj ni.

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

<b>IARMA ERAD-PT-2020</b> <b>Sample IARMA-098, Water Sample</b> analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2020</i> , končni rezultati objavljeni <i>januarja 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	<1	<0,14	–	–	A
Co-60	2,40 ± 0,10	2,39 ± 0,07	–0,4	0,0	A
Ba-133	3,20 ± 0,13	3,24 ± 0,10	1,3	0,1	A
Cs-134	4,30 ± 0,20	4,32 ± 0,13	0,5	0,0	A
Cs-137	2,90 ± 0,12	2,81 ± 0,08	–3,1	–0,3	A
Eu-152	1,90 ± 0,10	2,00 ± 0,09	5,3	0,5	A
Th-232	2,40 ± 0,20	2,56 ± 0,16	6,7	0,7	A
U-238	3,70 ± 0,25	3,53 ± 1,07	–4,6	–0,5	A
Am-241	3,70 ± 0,15	3,94 ± 0,18	6,5	0,6	A

<b>IARMA ERAD-PT-2020</b> <b>Sample IARMA-099, Water Sample</b> analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2020</i> , končni rezultati objavljeni <i>januarja 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	2,70 ± 0,14	2,69 ± 0,11	–0,4	0,0	A
Co-60	3,80 ± 0,20	3,69 ± 0,11	–2,9	–0,3	A
Ba-133	5,10 ± 0,20	4,87 ± 0,15	–4,5	–0,5	A
Cs-134	6,60 ± 0,33	6,44 ± 0,19	–2,4	–0,2	A
Cs-137	4,20 ± 0,20	4,17 ± 0,13	–0,7	–0,1	A
Eu-152	3,70 ± 0,20	3,52 ± 0,16	–4,9	–0,5	A
Th-232	7,95 ± 0,40	7,84 ± 0,26	–1,4	–0,1	A
U-238	6,10 ± 0,45	6,28 ± 1,53	3,0	0,3	A
Am-241	7,50 ± 0,33	7,54 ± 0,23	0,5	0,1	A



IARMA ERAD-PT-2020 Sample IARMA-1008, Water Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2020</i> , končni rezultati objavljeni <i>januarja 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 04	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	<1	<0,4	–	–	A
Co-60	4,80 ± 0,20	4,70 ± 0,14	–2,1	–0,2	A
Ba-133	9,00 ± 0,40	8,87 ± 0,27	–1,4	–0,1	A
Cs-134	5,10 ± 0,20	5,16 ± 0,15	1,2	0,1	A
Cs-137	9,50 ± 0,40	9,31 ± ,28	–2,0	–0,2	A
Eu-152	9,20 ± 0,50	9,18 ± 0,28	–0,2	0,0	A
Th-232	7,90 ± 0,40	8,10 ± 0,30	2,5	0,3	A
U-238	9,10 ± 0,50	8,95 ± 1,07	–1,6	–0,2	A
Am-241	10,00 ± 0,40	11,60 ± 0,40	16,0	1,6	A

IARMA ERAD-PT-2020 Sample IARMA-097, Seaweed Sample analize IJS opravljene <i>septembra in oktobra 2020</i> , končni rezultati objavljeni <i>januarja 2021</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 10	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
K-40	1275 ± 40	1210 ± 35	–5,1	–0,5	A
Co-57	4,80 ± 0,30	4,81 ± 0,14	0,2	0,0	A
Co-60	7,10 ± 0,50	7,08 ± 0,21	–0,3	0,0	A
Ba-133	8,30 ± 0,40	7,51 ± 0,24	–9,5	–1,0	A
Cs-134	14,80 ± 0,70	14,87 ± 0,45	0,5	0,0	A
Cs-137	6,30 ± 0,30	5,69 ± 0,17	–9,7	–1,0	A
Eu-152	9,00 ± 0,40	7,55 ± 0,26	–16,1	–1,6	A
Am-241	8,00 ± 0,30	6,60 ± 0,22	–17,5	–1,8	A



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

##### IAEA ALMERA proficiency test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, fish and simulated aerosol filter samples, IAEA-TEL-2020-04

V juliju 2020 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec rib 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 novembra 2020 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 15 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2020-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, November 2020*].

V naslednjih 6 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 15 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.  $\zeta$ -test in relativno odstopanje za ta vzorec smo določili sami. Vzorec vode št. 1 je vseboval umetne radionuklide, vzorec vode št. 2 naravne radionuklide, ki niso bili v ravnovesju (prekinjena veriga med Th-232 in Ra-228), vzorec rib št. 4 umetne in naravne radionuklide ter 3 vzorci simuliranih aerosolnih filtrov, ki so vsebovali Ag-110m in Se-75 v različnih 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 preveritev ali sodelujoči laboratorij pravilno upoštevajo koincidenčne korekcije pri izbranih radionuklidih (Na-22, Se-75, Am-110m), ki razpadajo v kaskadah ter ali pri izračunih neravnovesja pri radionuklidih iz torijevega razpadnega niza uporabljajo ustrezne korekcije. Neravnovesje v torijevem razpadnem nizu v vzorcu vode št. 2 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.

Za razliko od interkomparacije IAEA-TEL-2019-04, ko je to neravnovesje ustrezno obravnaval le en sodelujoči laboratorij, je bil izid letos mnogo boljši. IJS je poročal ustrezne rezultate za vse radionuklide v tem vzorcu. Največja odstopanja so bila v aerosolnih filtrih, kjer je IJS sistematsko poročal za 10–15 % previsoke, a še vedno sprejemljive rezultate.

## REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TEL-2020-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>od julija do oktobra 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	33,5 ± 0,5	32,5 ± 1,0	-2,99	-0,89	0,71	A
Cs-137	64,4 ± 0,9	62,5 ± 1,9	-2,95	-0,90	1,12	A
Na-22	76,8 ± 1,2	73,9 ± 2,2	-3,78	-1,22	0,58	A

IAEA-TEL-2020-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>od avgusta do oktobra 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Bi-212	6 ± 0,5	5,9 ± 0,2	-1,67	-0,19	0,03	A
Pb-212	6 ± 0,5	5,9 ± 0,2	-1,67	-0,19	0,03	A
Ra-228	24,7 ± 1	22,9 ± 0,7	-7,29	-1,47	0,95	A
Th-228	6 ± 0,5	5,9 ± 0,2	-1,67	-0,19	0,04	A
Tl-208	2,2 ± 0,2	2,11 ± 0,08	-4,09	-0,42	0,04	A





IAEA-TEL-2020-04 Sample 04, Shrimp sample analize IJS opravljene <i>od julija do oktobra 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Bi-212	11,5 ± 0,8	11,4 ± 0,5	-0,87	-0,11	0,02	A
Bi-214	13,5 ± 0,8	11,6 ± 1,8	-14,07	-0,96	0,59	A
Cs-134	119,4 ± 5	112,2 ± 3,4	-6,03	-1,19	0,82	A
Cs-137	18,9 ± 1	18,4 ± 0,6	-2,65	-0,43	0,38	A
K-40	369 ± 18	368,2 ± 11,1	-0,22	-0,04	0,03	A
Pb-210	95,8 ± 5	101,1 ± 5,1	5,53	0,74	0,33	A
Pb-212	11,5 ± 0,8	11,4 ± 0,5	-0,87	-0,11	0,02	A
Pb-214	13,5 ± 0,8	11,4 ± 0,3	-15,56	-2,46	0,64	A
Ra-226	13,5 ± 0,8	11,5 ± 1,8	-14,81	-1,02	0,59	A
Ra-228	34,9 ± 2	32,2 ± 1,0	-7,74	-1,16	0,75	A
Th-228	11,5 ± 0,8	11,4 ± 0,5	-0,87	-0,11	0,02	A
Tl-208	4,1 ± 0,3	4,1 ± 0,2	0,00	0,00	0,00	A

IAEA-TEL-2020-04 Sample 05, Simulated aerosol filter analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Ag-110m	55,1 ± 4	60,8 ± 1,8	10,34	1,30	0,64	A
Se-75	18,1 ± 1	20,4 ± 0,6	12,71	2,06	1,64	A

IAEA-TEL-2020-04 Sample 06, Simulated aerosol filter analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Ag-110m	35,1 ± 3	39,4 ± 1,2	12,25	1,33	0,73	A
Se-75	31,3 ± 1,5	34,9 ± 1,1	11,50	1,94	1,06	A



<b>IAEA-TEL-2020-04</b> <b>Sample 07, Simulated aerosol filter</b> analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2020</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2020</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/filter)					
Ag-110m	19,2 ± 1,4	21,9 ± 0,7	14,06	1,72	0,84	A
Se-75	113,4 ± 2	129,7 ± 3,9	14,37	3,72	1,27	W

#### 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/21-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**

<i>LMR-DN-05/06</i>	Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod
<i>LMR-DN-06/11</i>	Priprava sušine vzorcev vode
<i>LMR-DN-08/08</i>	Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/09</i>	Označevanje vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-10/13</i>	Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju
<i>LMR-DN-11/10</i>	Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG
<i>LMR-DN-27/06</i>	Rokovanje z vzorci
<i>ELME-DN-14/11</i>	Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama in radiološka karakterizacija lokacije

#### **Kontrolni postopki**

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

#### **Računski postopki**

<i>LMR-RP-01/02</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 Alpha
<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-01/04</i>	Opis del in nalog osebja v <i>Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo</i>
---------------------	--

#### **Delovna navodila**

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

#### **Kontrolni postopki**

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

#### **Računski postopki**

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