

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-12757  
Ljubljana, februar 2019

# Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2018

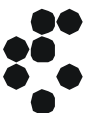


*Izvajalca meritev:*

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), Celovška cesta 182,  
1000 Ljubljana

*Izvajalec:* Institut "Jožef Stefan" (IJS), Jamova 39, 1000 Ljubljana

*Naslov poročila:* Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov  
v Brinju – POROČILO ZA LETO 2018

*Odgovorni nosilec naloge:* dr. Marijan Nečemer

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

*Štev. del. poročila IJS:* IJS-DP-12757

*Štev. projekta ARAO:* 09-01-002  
*Štev. pogodbe ARAO:* ARAO P010/2018

*Izvajalci meritev na IJS:* Drago Brodnik, Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., mag. Denis Glavič-Cindro,  
Sandi Gobec, dr. Marijan Nečemer, dr. Toni Petrovič, 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 v Brinju (fotografija IJS)



IJS-DP-12757  
februar 2019

**NASLOV POROČILA:**

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –  
Poročilo za leto 2018

**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 2018 je bila dozna obremenitev na referenčno osebo iz prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,03  $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ .

---

IJS-Report-12757  
February 2019

**REPORT TITLE:**

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –  
Report for the year 2018

**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 2018 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 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
<b>3</b>	<b>Ocena vpliva na okolje.....</b>	<b>16</b>
3.1	Atmosferski izpusti .....	16
3.2	Tekočinski izpusti.....	18
3.3	Ocena prejete doze .....	18
<b>4</b>	<b>Merski rezultati .....</b>	<b>20</b>
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 2018. 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 mesečnih ali kvartalnih 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)* preko laboratorija *Gammadata Landauer* iz Švedske. Sodelavci ZVD so opravili vzorčenje in meritve po postopku, akreditiranem pri Slovenski akreditaciji pod št. LP-032, skladno z standardom *EN ISO/IEC 17025*.

V letu 2018 je ARAO v CSRAO in na lokaciji 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 ogled e. V letu 2017 uvedeno metodo razstavljanja zaprtih virov sevanja v Objektu vroče celice je nadaljeval še v januarju 2018. Zaradi teh dejavnosti je bil nekoliko bolj pogost interni transport na relaciji Objekt vroče celice – CSRAO, preko tovornih vrat. Od julija do septembra so v skladiščnem prostoru CSRAO potekala pripravljalna dela za odvoz nekaterih skladišč enih virov sevanja v reciklažo v tujino. Glavnino del se je opravilo mesecu avgustu. Paketi namenjeni odvozu so vsebovali ionizacijske javljalnike požara, ki so vsebovali radionuklid Am-241 in zaščitne vsebnike iz osiromašenega urana. Priprava paketov za odvoz v reciklažo je potekala na transportni poti skladiščnega prostora, v bližini tovornih vrat (razkladalni prostor). 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 okrog 9 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 2018 ocenjujemo na okrog 0,29 GBq.

CSRAO je pasiven objekt in redno ne proizvaja tekočih izpustov. V preteklih letih smo občasno lahko v podzemnem rezervoarju, kjer se zbirajo odpadne vode iz umivalnice in kondenzat sušilne naprave, v sledovih (daleč pod dopustnimi mejami) zaznali prisotnost umetnih radionuklidov. 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

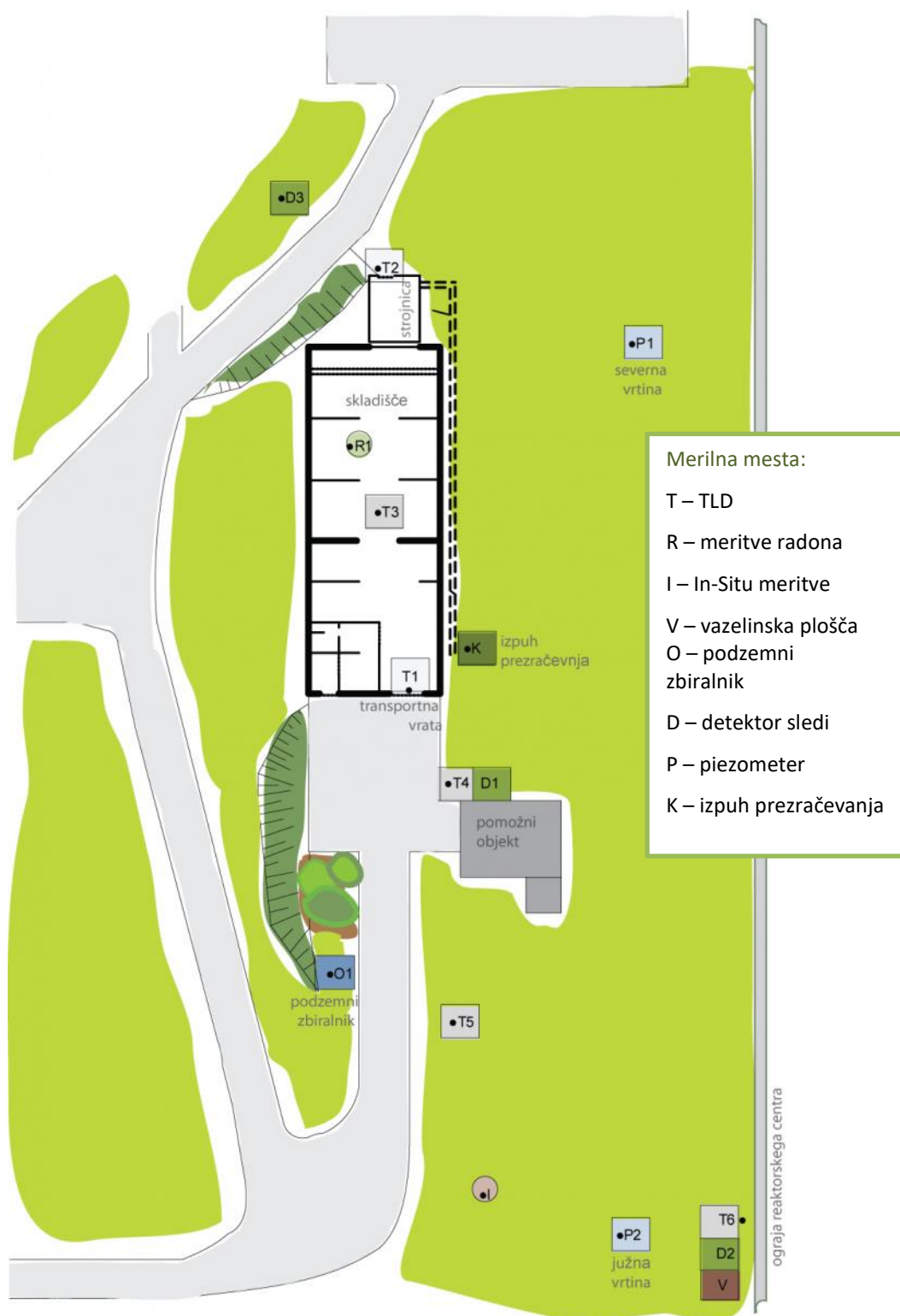
Pri izpostavljenosti referenčne osebe iz prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri 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  $\mu$ Sv. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Reaktorskem centru je okrog 1  $\mu$ Sv. 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 2018.



**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 marcu in septembru 2018. 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 cezija do  $3,6E-01$  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  $5,3E-01$  Bq/m<sup>3</sup>. Podobno v rezervoarju nismo zaznali tudi 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 2018 je bila do  $130$  Bq/m<sup>3</sup>.

### 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 radij. 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 zatesnimimo 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 1. 6. 2018 do 19. 6. 2018 ter v zimskem obdobju od 21. 12. 2018 do 11. 1. 2019. 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.

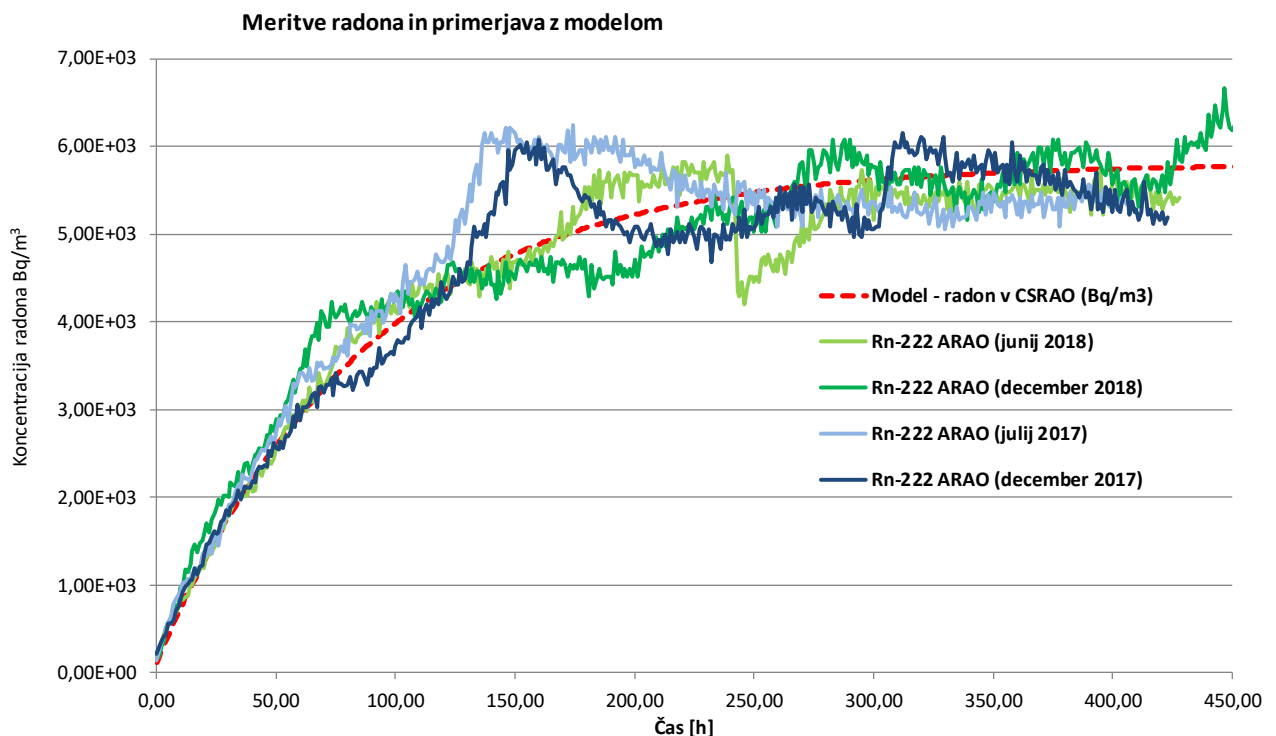
V letu 2018 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okrog  $6000$  Bq/m<sup>3</sup> (največja izmerjena vrednost  $6656$  Bq/m<sup>3</sup>) v zimskem obdobju (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v poletnih mesecih je bila nekoliko nižja okrog  $5400$  Bq/m<sup>3</sup> (največja izmerjena vrednost  $5888$  Bq/m<sup>3</sup>). Pri obeh meritvah so bili vremenski pogoji manj stabilni (nihanja v zračnem tlaku), tako da je bilo naraščanje koncentracije precej neenakomerno. V zadnjih letih opažamo, da ni izrazitih razlik med poletnimi in zimskimi meritvami. Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanjšega tlaka in vremenske motnje. Za CSRAO je bil pred letom 2008, ko so bile koncentracije precej višje, značilen izrazit trend nižjih koncentracij radona v zimskih mesecih v primerjavi s poletnimi meseci.





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  $8000 \text{ Bq/m}^3$ . Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputih za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okrog  $20.000 \text{ Bq/m}^3$ . Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij in boljše tesnosti objekta CSRAO. Leta 2008 je potekal projekt prepakiranja RAO ("Izboljšanje ravnanja z institucionalnimi RAO v Sloveniji"). V okviru projekta so bili prepakirani tudi radijevi odpadki. Radij, ki je bil vzrok za visoke koncentracije radona, je bil hermetično zavarjen v novo embalažo. Najpomembnejše je bilo prepakiranje soda, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračevanem skladiščnem prostoru po tem letu padla na okrog  $5000\text{--}6000 \text{ Bq/m}^3$ .

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 meritve.

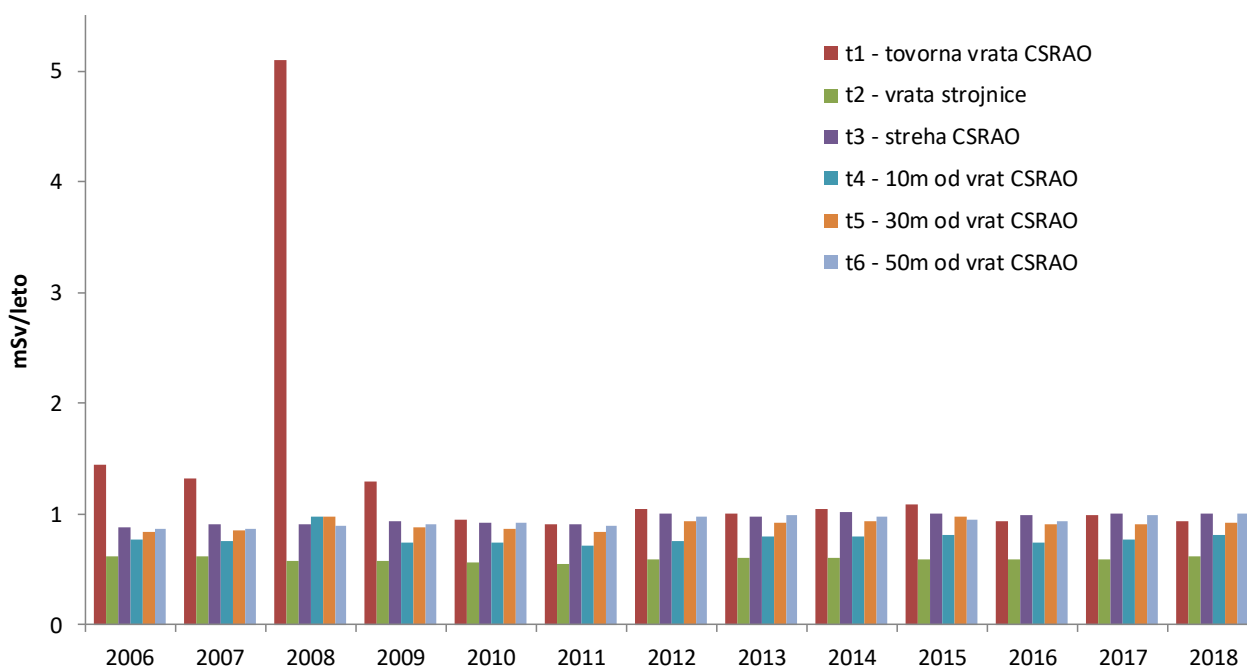


## 2.4 MERITVE V OKOLJU

### 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.

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze  $H^*(10)$ ) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,94 mSv (0,99 mSv v letu 2017). Podobna je bila izmerjena letna doza na strehi CSRAO 1,01 mSv (1,00 mSv v letu 2017). 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.

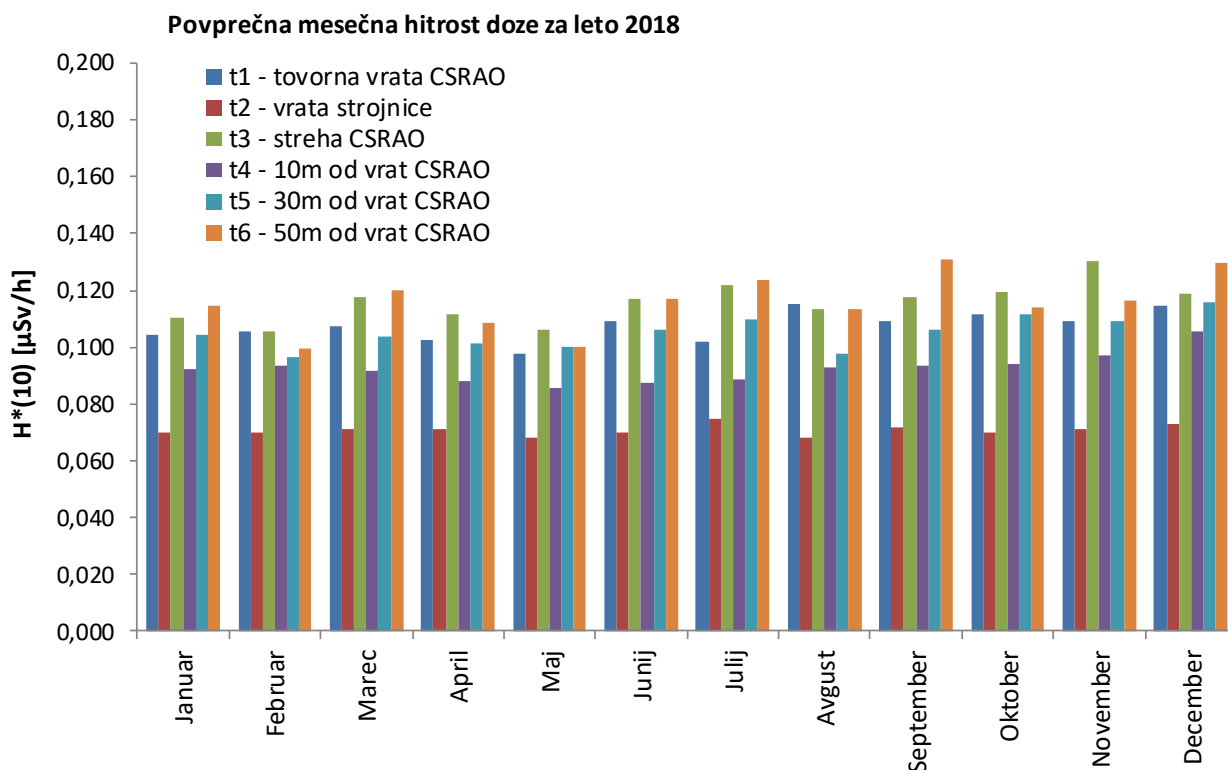


**Graf 2:** Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letne doze)

Pri analizi in primerjavi rezultatov meritev (Tabela 5) je potrebno upoštevati, da je merilni cikel za posamezni mesec lahko različen od dejanskega števila dni zaradi tega 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 referenčni lokaciji 50 m od CSRAO v septembru 0,131  $\mu$ Sv/h. Na transportnih vratih je bila največja izmerjena povprečna hitrost doze v avgustu 0,113  $\mu$ Sv/h, ko je bilo največ internega transporta ob tovornih vratih. Na strehi skladišča je bila največja izmerjena povprečna hitrost doze v novembru 0,130  $\mu$ Sv/h. Slednja hitrost doze v okviru merske negotovosti ni odstopala od referenčne lokacije.



Pri ostalih lokacijah meritev 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 0,81 mSv (0,77 mSv v letu 2017) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 1,01 mSv (1,00 mSv mSv v letu 2017). 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 0,060  $\mu\text{Sv/h}$  na asfaltni površini pred objektom CSRAO, pa do največ 0,115  $\mu\text{Sv/h}$  na na strehi objekta CSRAO. Podobne vrednosti kot na strehi objekta so bile izmerjene tudi na travniku 30 m od transportnih vrat. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.

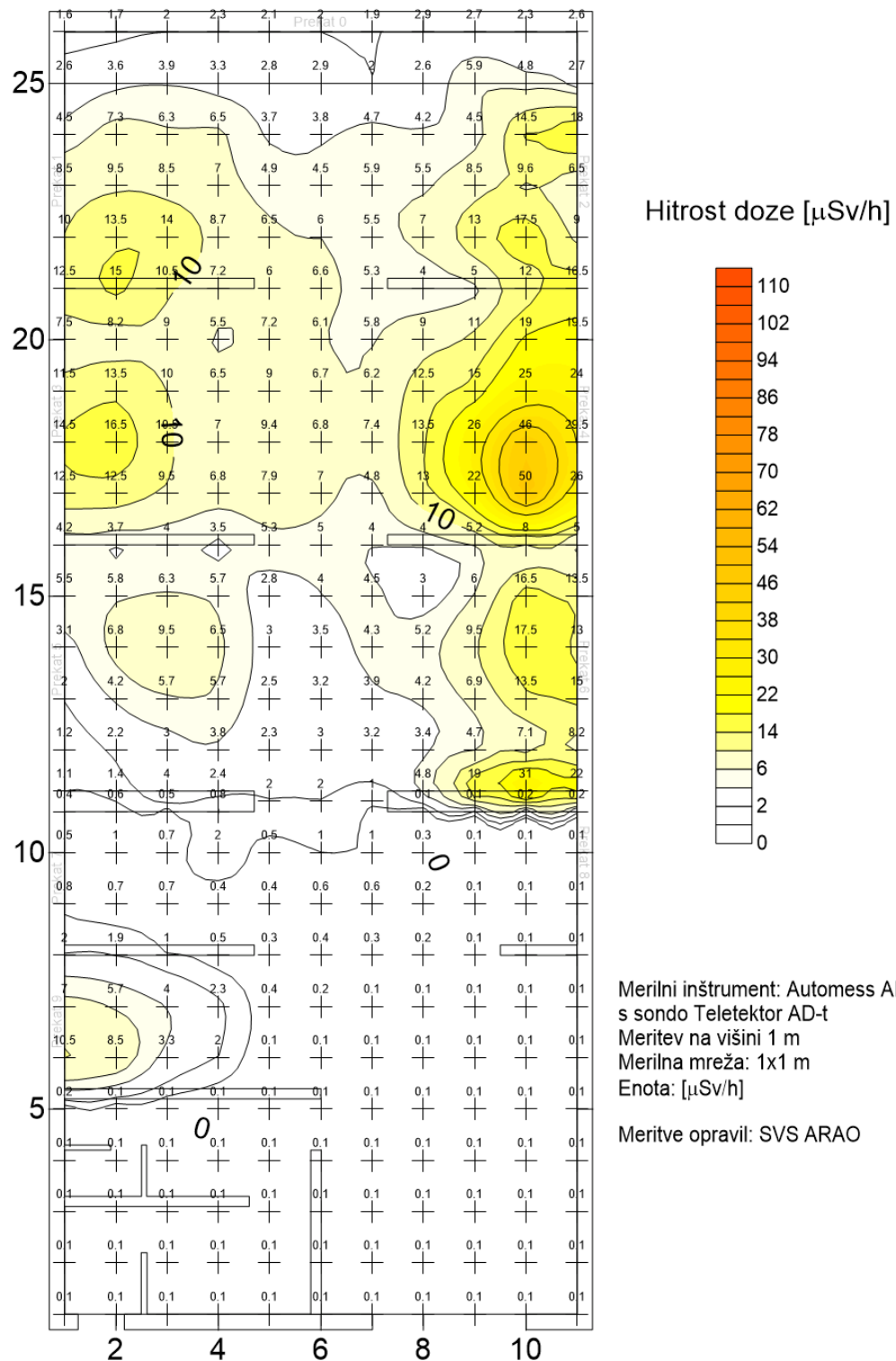
Na sliki 3 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekatih v skladiščnem prostoru so podobni kot v preteklem letu in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in nove razmestitve sodov. Sedaj se bolj aktivni sodi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



**Slika 2:** Rezultati meritev hitrosti doze  $H^*(10)[nSv/h]$  sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, opravljene in predstavljene s programsko opremo RouteMonitoring (8.7. 2018).



## Dozno polje sevanja gama v CSRAO na Brinju stanje na dan 23.07.2018



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.



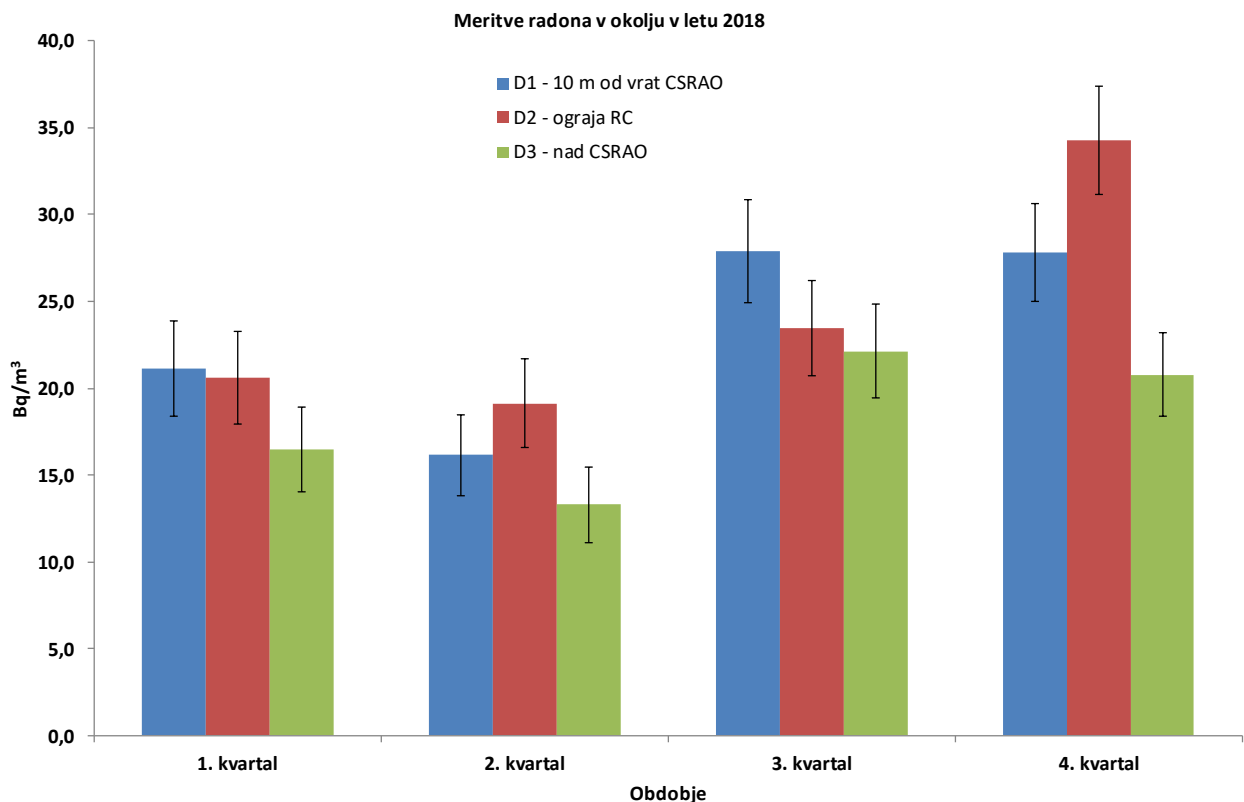
### 2.4.2 ZRAK (radon v okolju)

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 zadnjem kvartalu predvsem na travniku na ograji RC. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji D1 (10 m od CSRAO) je bila  $(23 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ . Na lokaciji D3 (nad CSRAO ob stavbi IJS) je bila povprečna koncentracija  $(18 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$  in na referenčni lokaciji D2 (ograja RC) je bila  $(25 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ . 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  $20 \text{ Bq/m}^3$  (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.

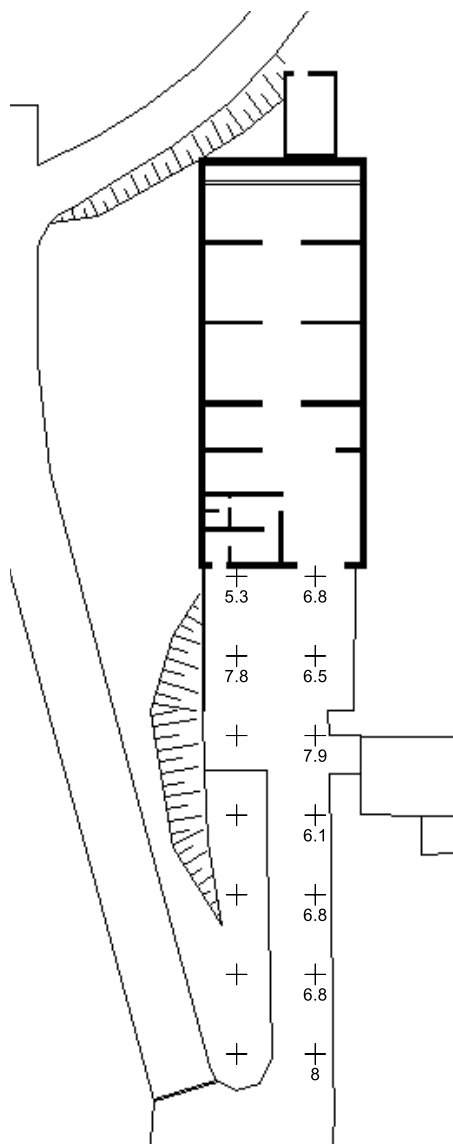
## 2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

### 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 vzhodno 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 dobro ujemanje med meritvami IJS in ARAO. Izmerjene vsebnosti naravnih radionuklidov in Cs-137 so običajne za naravno okolje.

ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži (slike 5). Rezultati meritev (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2018, 09-01-002/19-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 ( $5 - 8 \text{ s}^{-1}$ ).



**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. Meritev je bila opravljena dne 24.8.2018





## 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 430 Bq/m<sup>2</sup>, kar je primerljivo z običajno izmerjenimi aktivnostmi okrog 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 povprečna hitrost izpuščanja v okviru merske negotovosti podobna kot v preteklem letu ( $9 \pm 3$ ) Bq/s. 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).

Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 450 m<sup>2</sup> (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m<sup>2</sup>s).



**Tabela 1:** Ocena povprečnih izpustov radona iz skladišča v preteklih letih

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

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2018 ocenjujemo na približno **0,29 GBq/leto**, kar je v okviru negotovosti primerljivo z leti od 2011.

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

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

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

**Tabela 2:** Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust  $9,2 \text{ Bq/s}$ .

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 ( $\text{Bq/m}^3$ )	<b>7,33</b>	<b>0,92</b>	<b>0,37</b>	<b>0,09</b>
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
$\chi$ – Koncentracija Radona ( $\text{Bq/m}^3$ )	<b>16,50</b>	<b>1,83</b>	<b>0,64</b>	<b>0,18</b>



### 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, tabela 1) in tudi daleč pod omejitvijo za pitno vodo (Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi SV11). 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 9,2 Bq/s. Oceno prejete doze smo naredili za tri odrasle predstavnike referenčne skupine:

- za varnostnika - receptorja, ki se pogosteje zadržuje okoli CSRAO;
- za zaposlenega IJS v stavbi v neposredni bližini CSRAO in
- za okoliškega kmeta, ki se zadržuje ob ograji 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 konzervativna 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. Konzervativno 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 ( $\mu\text{Sv}/\text{leto}$ )	0,61	0,026	1,28
Zunanje sevanje ( $\mu\text{Sv}$ )	0	0	0
<b>Skupna efektivna doza (<math>\mu\text{Sv}/\text{leto}</math>)</b>	<b>0,61</b>	<b>0,03</b>	<b>1,28</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 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 CSRAO t4 – 10 m od transp. vrat t5 – 30 m od transp. 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 skladišča) 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 transp. vrat d3 – Pred zgradbo IJS, smer NW d2 – Ograja (50 m od skladišča), 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 P1 piezometer, severna vrtina	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	50m ESE od vhodnih vrat skladišča, 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	RA18-VN1-31 23. 3. 2018
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
K-40	1,3E+02 ± 1,3E+01
Cs-137	2,9E-01 ± 6,1E-02
Pb-210	<8,5E+00
Ra-226	2,5E+00 ± 3,7E-01
Ra-228	1,3E+00 ± 4,0E-01
Th-228	3,8E-01 ± 1,3E-01
U-238	2,7E+00 ± 1,4E+00

Oznaka vzorca	RA18-VN1-91 28. 9. 2018
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
Be-7	1,6E+00 ± 9,2E-01
K-40	1,0E+02 ± 1,0E+01
Cs-137	3,6E-01 ± 1,2E-01
Pb-210	<2,3E+00
Ra-226	1,8E+00 ± 5,7E-01
Ra-228	8,0E-01 ± 4,2E-01
Th-228	5,5E-01 ± 3,1E-01
U-238	2,8E+00 ± 1,2E+00





#### 4.2.2 Zunanje sevanje

**Tabela 5:** Mesečne doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2018. Meritve je izvedel IJS.

Datum	Mesec	t1 - tovorna vrata	t2 - vrata strojnice	t3 - streha	t4 - 10m od vrat	t5 - 30m od vrat	t6 - 50m od vrat
8.1. - 5.2. 2018	Januar	0,070	0,047	0,074	0,062	0,070	0,077
5.2. - 5.3.2018	Februar	0,071	0,047	0,071	0,063	0,065	0,067
5.3. - 9.4.2018	Marec	0,090	0,060	0,099	0,077	0,087	0,101
9.4. - 7.5.2018	April	0,069	0,048	0,075	0,059	0,068	0,073
7.5. - 11.6.2018	Maj	0,082	0,057	0,089	0,072	0,084	0,084
11.6. - 12.7.2018	Junij	0,081	0,052	0,087	0,065	0,079	0,087
12.7. - 6.8.2018	Julij	0,061	0,045	0,073	0,053	0,066	0,074
6.8. - 10.9.2018	Avgust	0,097	0,057	0,095	0,078	0,082	0,095
10.9. - 9.10.2018	September	0,076	0,050	0,082	0,065	0,074	0,091
9.10. - 16.11.2018	Oktober	0,102	0,064	0,109	0,086	0,102	0,104
16.11. - 10.12.2018	November	0,063	0,041	0,075	0,056	0,063	0,067
10.12.2018 - 7.1.2019	December	0,077	0,049	0,080	0,071	0,078	0,087
<b>Letna doza (mSv):</b>		<b>0,94</b>	<b>0,62</b>	<b>1,01</b>	<b>0,81</b>	<b>0,92</b>	<b>1,01</b>

#### 4.2.3 Zrak

**Tabela 6:** Rezultati meritev koncentracij radona z detektorji jedrskih sledi. Meritve je opravil Zavod za varstvo pri delu ZVD, ki je uporabil detektorje jedrskih sledi Gammadata iz Švedske.

Lokacija	2018 Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]							
	4.1. - 30.3.2018	Uteženo povprečje	30.3. - 29.6.2018	Uteženo povprečje	29.6. - 1.10.2018	Uteženo povprečje	1.10. - 7.1.2019	Uteženo povprečje
D1 - 10 m od vrat CSRAO	23 ± 4	21,1 ± 2,7	14 ± 3	16,2 ± 2,3	33 ± 5	27,9 ± 3,0	30 ± 4	27,8 ± 2,8
	20 ± 4		19 ± 4		24 ± 4		26 ± 4	
D2 - Ograja RC	21 ± 4	20,6 ± 2,7	21 ± 4	19,1 ± 2,5	26 ± 4	23,5 ± 2,7	38 ± 5	34,3 ± 3,1
	21 ± 4		18 ± 4		21 ± 4		32 ± 4	
D3 - Nad CSRAO	17 ± 4	16,5 ± 2,4	13 ± 3	13,3 ± 2,2	33 ± 5	22,1 ± 2,7	19 ± 3	20,8 ± 2,4
	16 ± 3		13 ± 3		17 ± 3		25 ± 4	



#### 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:	RA18-VRP1-51 Severna vrtina 28. 5. 2018	RA18-VRP2-51 Južna vrtina 28. 5. 2018
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>3</sup> )
Be-7	–	–
K-40	3,1E+01 ± 4,2E+00	4,4E+01 ± 4,9E+00
Cs-137	–	–
Pb-210	3,3E+00 ± 2,1E+00	7,0E+00 ± 3,5E+00
Ra-226	1,5E+00 ± 7,9E-01	6,0E+00 ± 1,3E-01
Ra-228	9,2E-01 ± 5,1E-01	1,1E+00 ± 4,8E-01
Th-228	4,9E-01 ± 2,4E-01	1,1E+00 ± 2,3E-01
U-238	< 9,2E+00	–

#### 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) 26. 9. 2018	3×3" NaI(Tl) – ARAO 26. 9. 2018
<b>Predpostavljena enakomerna porazdelitev</b>	<b>(Bq/kg)</b>	
Be-7	25 ± 5	–
K-40	293 ± 46	351 ± 70
Cs-137	31 ± 5	48 ± 14
Ra-226 (Bi-241)	31 ± 5	32 ± 13
Ra-228	28 ± 4	–
Th-228	29 ± 4	30 ± 9
<b>Predpostavljena površinska porazdelitev</b>	<b>(Bq/m<sup>2</sup>)</b>	
Be-7	740 ± 150	–
Cs-137	1060 ± 170	1425 ± 428



#### 4.2.6 Talni used

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

Oznaka vzorca:	RA18-PV1-M1 8. 1. 2018 – 7. 1. 2019
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m <sup>2</sup> )
Be-7	4,3E+02 ± 2,2E+01
K-40	2,6E+00 ± 5,5E-01
Cs-137	1,4E-01 ± 3,4E-02
Pb-210	7,3E+01 ± 3,1E+00
Ra-226	8,7E-01 ± 5,5E-01
Ra-228	1,5E-01 ± 7,9E-02
Th-228	3,4E-01 ± 5,4E-02

### 4.3 ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

V tabelah uporabljamo enote in oznake, ki naj bi najbolj neposredno omogočale izračun obremenitve človeka in so v skladu z zakonodajnimi podatki.

#### VODA

- Aktivnost se navaja v enotah Bq/m<sup>3</sup>.

#### ZEMLJA

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

#### ZUNANJA DOZA

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

#### ZRAK

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



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

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

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

medij	VODA
enota	Bq/m <sup>3</sup>
velikost vzorca	0,05 m <sup>3</sup>
Be-7	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 2018 izvedene primerjave meritev okoljske TL dozimetrije z neodvisnimi meritvami ZVD. Primerjali smo rezultate meritev dozimetrov v mesecu maju (Tabela 11).

**Tabela 11:** Primerjalne meritve TL dozimetrov med IJS in ZVD.

Lokacija	Datum	Meritve ZVD	Meritve IJS		
		H*(10) [mSv]	H*(10) [mSv]	M <sub>IJS</sub> /M <sub>ZVD</sub>	u-test
t1 - tovorna vrata CSRAO	7.5. - 11.6.2018	0,101 ± 0,010	0,082 ± 0,008	0,81	1,46
t2 - vrata strojnice	7.5. - 11.6.2018	0,063 ± 0,006	0,057 ± 0,006	0,90	0,71
t3 - streha CSRAO	7.5. - 11.6.2018	0,095 ± 0,010	0,089 ± 0,009	0,94	0,46
t4 - 10m od vrat CSRAO	7.5. - 11.6.2018	0,076 ± 0,008	0,072 ± 0,007	0,95	0,38
t5 - 30m od vrat CSRAO	7.5. - 11.6.2018	0,092 ± 0,009	0,084 ± 0,008	0,91	0,64
t6 - 50m od vrat CSRAO	7.5. - 11.6.2018	0,101 ± 0,010	0,084 ± 0,008	0,83	1,29

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. V okviru u-testa se vsi rezultati meritev ujemajo. ZVD je izmeril sistematsko višje vrednosti, vendar meritve ne odstopajo za več kot 20%.

## 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-2018 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water

V letu 2018 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 3 vzorcih umetno kontaminirane vode in enem vzorcu sena določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in sena z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Individualna poročila smo prejeli oktobra 2018.



V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 05 za Odsek F-2) in primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in v vzorcu sena.

Vsi rezultati so sprejemljivi, razen za Pb-210 v vzorcu vode IARMA-067 (Warning). Tu je bila naša poročana vrednost za 29,4 % višja. V ostalih dveh vzorcih je bil rezultat za Pb-210 sprejemljiv in sicer v vzorcu IARMA-066 za 2,2 % nižji in v vzorcu IARMA-068 za 1,7 % višji, kar pomeni, da sistematskih razhajanj ni. Poleg tega nismo poročali K-40 v vzorcu sena. Pri ostalih radionuklidih so vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti..

## REZULTATI IJS (Odsek F-2)

<b>IARMA ERAD-PT-2018</b> <b>Sample IARMA-066, Water Sample</b> analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2018</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	0,67 ± 0,2	0,72 ± 0,05	7,5	0,7	A
Co-60	8,18 ± 0,25	8,84 ± 0,27	8,1	0,8	A
Ba-133	1,86 ± 0,06	1,77 ± 0,14	-4,8	-0,5	A
Cs-137	1,04 ± 0,03	1,13 ± 0,05	8,7	0,9	A
Pb-210	4,50 ± 0,23	4,40 ± 1,00	-2,2	-0,2	A
Ra-226	2,23 ± 0,12	2,00 ± 0,40	-10,3	-1,0	A
Am-241	2,04 ± 0,07	2,27 ± 0,07	11,3	1,1	A

<b>IARMA ERAD-PT-2018</b> <b>Sample IARMA-067, Water Sample</b> analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2018</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	1,23 ± 0,04	1,38 ± 0,09	12,2	1,2	A
Co-60	4,96 ± 0,15	5,32 ± 0,16	7,3	0,7	A
Ba-133	3,28 ± 0,10	3,23 ± 0,11	-1,5	-0,2	A
Cs-137	2,70 ± 0,08	2,70 ± 0,08	0,0	0,0	A
Pb-210	8,50 ± 0,40	11,00 ± 1,80	29,4	2,9	W
Ra-226	6,14 ± 0,18	6,50 ± 0,50	5,9	0,6	A
Am-241	3,80 ± 0,11	4,20 ± 0,13	10,5	1,1	A



IARMA ERAD-PT-2018 Sample IARMA-068, Water Sample analize IJS opravljene <i>avgusta in septembra 2018</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	2,98 ± 0,09	3,10 ± 0,10	4,0	0,4	A
Co-60	8,65 ± 0,26	9,23 ± 0,28	6,7	0,7	A
Ba-133	10,27 ± 0,31	10,15 ± 0,30	-1,2	-0,1	A
Cs-137	5,57 ± 0,17	5,26 ± 0,16	-5,6	-0,6	A
Pb-210	23,9 ± 1,1	24,30 ± 0,80	1,7	0,2	A
Ra-226	10,10 ± 0,30	11,50 ± 0,70	13,9	1,4	A
Am-241	12,40 ± 0,40	13,30 ± 0,40	7,3	0,7	A

IARMA ERAD-PT-2018 Sample IARMA-065, Hay Sample analize IJS opravljene <i>junija 2018</i> , končni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-60	88 ± 3	94 ± 3	6,8	0,7	A
Ba-133	48,5 ± 1,5	47,7 ± 1,5	-1,6	-0,2	A
Cs-137	457 ± 14	457 ± 14	0,0	0,0	A
Am-241	125 ± 4	135 ± 4	8,0	0,8	A

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

##### IAEA ALMERA proficiency test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water and soil samples , IAEA-TEL-2018-04

V maju 2018 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode in vzorec zemlje za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli oktobra 2018 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 4 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2018-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2018*].

V naslednjih 3 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 4 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. Vzorec vode št. 2 je vseboval mešanico svežih fizijskih produktov, ki običajno niso prisotni v vzorcih (voda iz primarnega hladilnega kroga jedrske elektrarne). Za ta vzorec smo dobili dodatno navodilo (priporočilo), da ga izmerimo takoj s časom meritve najmanj 60000 s, nato ponovno čez 15 dni s časom meritve med 80000 s in 160000 s, odvisno od izkoristka detektorja ter po 30 dneh s časom meritve najmanj 160000 s. V vzorcu zemlje je bilo treba določiti naravne in umetne radionuklide.

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*).

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100 \%$$

$$|Bias| \leq k \cdot P, \quad k = 2,58$$

Če je  $|Bias| \leq k \cdot P$  in  $P \leq MARB$ , je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (*precision*).

Dodatni kriterij, ki ga IAEA uporablja za primerjavo rezultatov, je Z-test:

$$Z = \left| \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{robustSD} \right|$$

kjer je *robustSD* standardna deviacija rezultatov interkomparacije brez outlierjev. Kriteriji za ovrednotenje so:

$z < 2$ : acceptable,  $2 \leq z \leq 3$ : warning,  $z > 3$ : not acceptable

Pri vzorcu vode št. 1 so vsi rezultati sprejemljivi, razen za Pb-210, kjer test preciznosti ni bil uspešen. Relativno odstopanje tega rezultata je 15 %, kriterij, *MARB* za Pb-210 je bil postavljen na 15 %, merilna negotovost referenčne vrednosti pa je zelo majhna (1 %).

Zelo zanimiv je bil vzorec vode št. 2, saj je analiza tega vzorca zahtevala dodatno pozornost, ker so bili v tem vzorcu radionuklidi, ki jih nimamo v knjižnicah, ki jih uporabljamo pri redni meritvah. Poleg tega je bilo med njimi precej kratkoživih potomcev, za katere je bilo pomembno, da smo dobro ocenili začetno aktivnost starša in posledično sekularno ravnotežje. Pri tem vzorcu smo poročali aktivnosti za 11 radionuklidov, za 1 radionuklid (Sb-124) smo pozabili poročati (redna analiza je aktivnost tega radionuklida ustrezno določila). Za 4 radionuklide (Na-24, K-42, I-133 in W-187) rezultatov nismo poročali. Glede na to, da imajo vsi ti radionuklidi razpolovno dobo krajšo od 1 dneva, referenčni datum je bil 14. 5. 2018 6:42, mi pa smo prvo meritev začeli 18. 5. 2018 17:49 (isti dan, kot smo vzorec prejeli), kar je dobre 4 dni kasneje, je verjetnost, da bi lahko te radionuklide detektirani, minimalna. Pri treh radionuklidih (Co-60, Br-82 in Cs-136), smo dobili opozorilo (W). Br-82 in Cs-136 nimamo v knjižnici pri običajnih analizah, poleg tega imata ta dva radionuklida koincidenčne korekcije, ki jih nismo mogli sistematično in na ustrezen način upoštevati. Predvidevamo, da je to ključni vzrok za razhajanje. Bolj problematično je razhajanje pri Co-60. Le-tega smo določili na podlagi črte 1332 keV, ker črta pri 1773 keV deloma interferira s črto 1168 keV Cs-134, ki je imel v tem vzorcu zelo visoko aktivnost (mnogo višjo kot Co-60).

Vsi rezultati za vzorec zemlje (vzorec št. 4) so ustrezni. V vzorcu zemlje je bil tudi prisoten U-235 v sledeh, ki ga nismo poročali.





## REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TEL-2018-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja in junija 2018</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 4	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	29,3 ± 0,2	30,2 ± 1,2	3,07	-0,74	0,47	A
Ba-133	28,6 ± 0,2	28,9 ± 0,9	1,05	-0,33	0,16	A
Co-60	97,6 ± 0,8	101 ± 3	3,48	-1,10	0,85	A
Cs-134	58,2 ± 0,3	57,4 ± 1,8	-1,37	0,44	0,31	A
Cs-137	29 ± 0,2	28 ± 1	-3,45	0,98	0,91	A
Pb-210	95,6 ± 0,9	109 ± 4	14,02	-3,27	1,54	W

IAEA-TEL-2018-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja in junija 2018</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 4	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Be-7	440 ± 12	450 ± 20	2,27	-0,43	0,33	A
Na-24	21900 ± 600	T <sub>1/2</sub> = 14,96 h				
K-42	444000 ± 17000	T <sub>1/2</sub> = 12,40 h				
Mn-54	61,3 ± 1,4	66,5 ± 2,0	8,48	-2,13	1,73	A
Co-58	15,5 ± 1,2	17,5 ± 0,7	12,90	-1,44	1,33	A
Co-60	14,3 ± 0,6	17,0 ± 0,5	18,88	-3,46	1,35	W
Br-82	224 ± 8	273 ± 19	21,88	-2,38	2,28	W
Rb-86	240 ± 7	263 ± 8	9,58	-2,16	1,14	A
Mo-99	470 ± 15	470 ± 20	0,00	0,00	0,00	A
Sb-124	33,5 ± 0,7	nismo poročali				
I-131	241 ± 7	255 ± 9	5,81	-1,23	0,82	A
I-133	2760 ± 70	T <sub>1/2</sub> = 20,87 h				
Cs-134	3010 ± 60	3020 ± 90	0,33	-0,09	0,07	A
Cs-136	29,2 ± 0,7	33,5 ± 1,3	14,73	-2,91	1,26	W
Cs-137	2010 ± 40	1990 ± 60	-1,00	0,28	0,28	A
W-187	425 ± 23	T <sub>1/2</sub> = 23,72 h				



IAEA-TEL-2018-04 Sample 04, Soil sample analize IJS opravljene <i>maja in septembra 2018</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2018</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 4	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
K-40	374 ± 15	402 ± 24	7,49	-0,99	0,85	A
Co-60	141,8 ± 2,7	150 ± 5	5,78	-1,44	0,99	A
Ba-133	56,8 ± 0,9	57 ± 2	0,35	-0,09	0,03	A
Cs-134	112,2 ± 1,6	110 ± 3,3	-1,96	0,60	0,24	A
Cs-137	64,9 ± 1,2	63 ± 2	-2,93	0,81	0,48	A
Tl-208	11,7 ± 0,4	11,8 ± 0,5	0,85	-0,16	0,08	A
Pb-210	485 ± 11,6	531 ± 22	9,48	-1,85	0,55	A
Pb-212	32,6 ± 1,3	34,7 ± 1,2	6,44	-1,19	0,68	A
Pb-214	31,2 ± 1,5	32,7 ± 1,0	4,81	-0,83	0,44	A
Bi-214	31,2 ± 1,5	31,5 ± 1,2	0,96	-0,16	0,05	A
Ra-226	31,2 ± 1,5	32,9 ± 3,7	5,45	-0,43	0,09	A
Ra-228	32,6 ± 1,3	33,9 ± 1,0	3,99	-0,79	1,00	A
Ac-228	32,6 ± 1,3					
Th-228	32,6 ± 1,3					
Pa-234m	25 ± 1,7	25,9 ± 2,6	3,60	-0,29	0,20	A
Th-234	25 ± 1,7					
U-235	1,0 ± 0,1	nismo poročali				
U-238	25,0 ± 1,7	29,8 ± 3,5	19,20	-1,23	0,83	A
Am-241	53,1 ± 0,9	55 ± 2	3,58	-0,87	0,30	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 2017, ARAO 09-01-002/ME/19-SVS-1
- 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

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

### Delovna navodila

<i>LMR-DN-05/05</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 viskoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/09</i>	Označevanje vzorcev za viskoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-10/13</i>	Viskoločljivostna 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-14/09</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 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-01/03</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)