

IJS delovno poročilo
IJS-DP-12449
Ljubljana, februar 2018

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2017

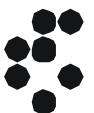


Izvajalca meritev:

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 2017

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-12449

Štev. projekta ARAO: 09-01-002

Štev. pogodbe ARAO: ARAO P008/2017

Izvajalci meritev na IJS: Drago Brodnik, Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., mag. Denis Glavič-Cindro,
Sandi Gobec, dr. Marijan Nečemer, 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 ARAO)



IJS-DP-12449
februar 2018

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2017

KLJUČNE BESEDE:

radioaktivno onesnaženje okolja, tekočinski radioaktivni izpusti, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, doza zunanjšega sevanja, ocena učinkovitih doz, referenčna skupina iz prebivalstva

POVZETEK:

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov so podani z ocenami učinkovitih doz. V letu 2017 je bila dozna obremenitev na posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,02 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-12449
February 2018

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2017

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 2017 the effective dose is conservatively estimated to 0.02 μSv per year for the reference group (local farmer).



VSEBINA

1	Uvod	4
2	Ovrednotenje meritev	5
2.1	Povzetek	5
2.2	VZORČEVALNA MESTA	6
2.3	EMISIJE	7
2.3.1	VODA (podzemni rezervoar)	7
2.3.2	ZRAK (radon v skladišču)	7
2.4	MERITVE V OKOLJU	9
2.4.1	ZUNANJE SEVANJE.....	9
2.4.2	ZRAK (radon v okolju).....	14
2.4.3	VODA (podtalnica).....	15
2.5	VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI	15
2.5.1	MERITVE KONTAMINACIJE TAL	15
2.5.2	TALNI USED.....	17
3	Ocena vpliva na okolje.....	17
3.1	Atmosferski izpusti	17
3.2	Tekočinski izpusti.....	19
3.3	Ocena prejete doze	19
4	Merski rezultati	21
4.1	Program nadzora	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 rezervoar).....	24
4.2.2	Zunanje sevanje.....	24
4.2.3	Zrak.....	25
4.2.4	Voda (podtalnica)	25
4.2.5	Meritve kontaminacije tal	26
4.2.6	Talni used	26
4.3	Enote in nazivi količin	27
4.4	Orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG spektrometrijo.....	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	31
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 2017. Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program nadzora okolja skladišča, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, rev. 0, ARAO-0401026000/07, december 2007. Program je bil odobren s strani URSJV z odobritvijo Varnostnega poročila. Program je skladen s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur. l. RS, št. 20/2007, 97/2009).

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.

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 po postopku, akreditiranem pri Slovenski akreditaciji pod št. LP-032, meritve pa so opravili v laboratoriju *Gammadata Landauer*, ki je za to metodo akreditiran skladno z standardom *EN ISO/IEC 17025* pri švedski akreditacijski službi SWEDAC.

V letu 2017 je ARAO v skladiščnem prostoru objekta CSRAO in na ožji lokaciji opravljal rutinska dela, ki vključujejo vnos in iznos paketov RAO, izvajanje rednih pregledov in vzdrževanje SSK, izvajanje nadzornih meritev, obiske inšpekcij ter vodenje strokovnih ogledov. V novembru in decembru je potekalo prepakiranje izrabljenih zaprtih virov v OVC. Delavci ARAO so izvajali prevoz RAO iz lokacije CSRAO v OVC. Med prevozom so pazili, da ni bilo nepooblaščenih oseb na transportni poti. S tem so preprečili nepotrebno zunanjo izpostavljenost ostalih delavcev reaktorskega centra in obiskovalcev. Ostalih dejavnosti, ki bi lahko dodatno sevalno obremenjevala okolico objekta CSRAO ni bilo.



2 OVREDNOTENJE MERITEV

2.1 POVZETEK

Redni nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov na Brinju obsega meritve emisij (meritev izpustov), meritve imisij (meritev v okolju) in meritve za vzdrževanje pripravljenosti. Izpostavitvev 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 iz okolice CSRAO. Deleža prispevka 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 8 Bq/s. Izpusti ostajajo podobni že od leta 2009. 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 2017 ocenjujemo na okrog 0,26 GBq.

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

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 vrat objekta CSRAO. Vpliv objekta CSRAO na podtalnico iz meritev ni bil zaznan. 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

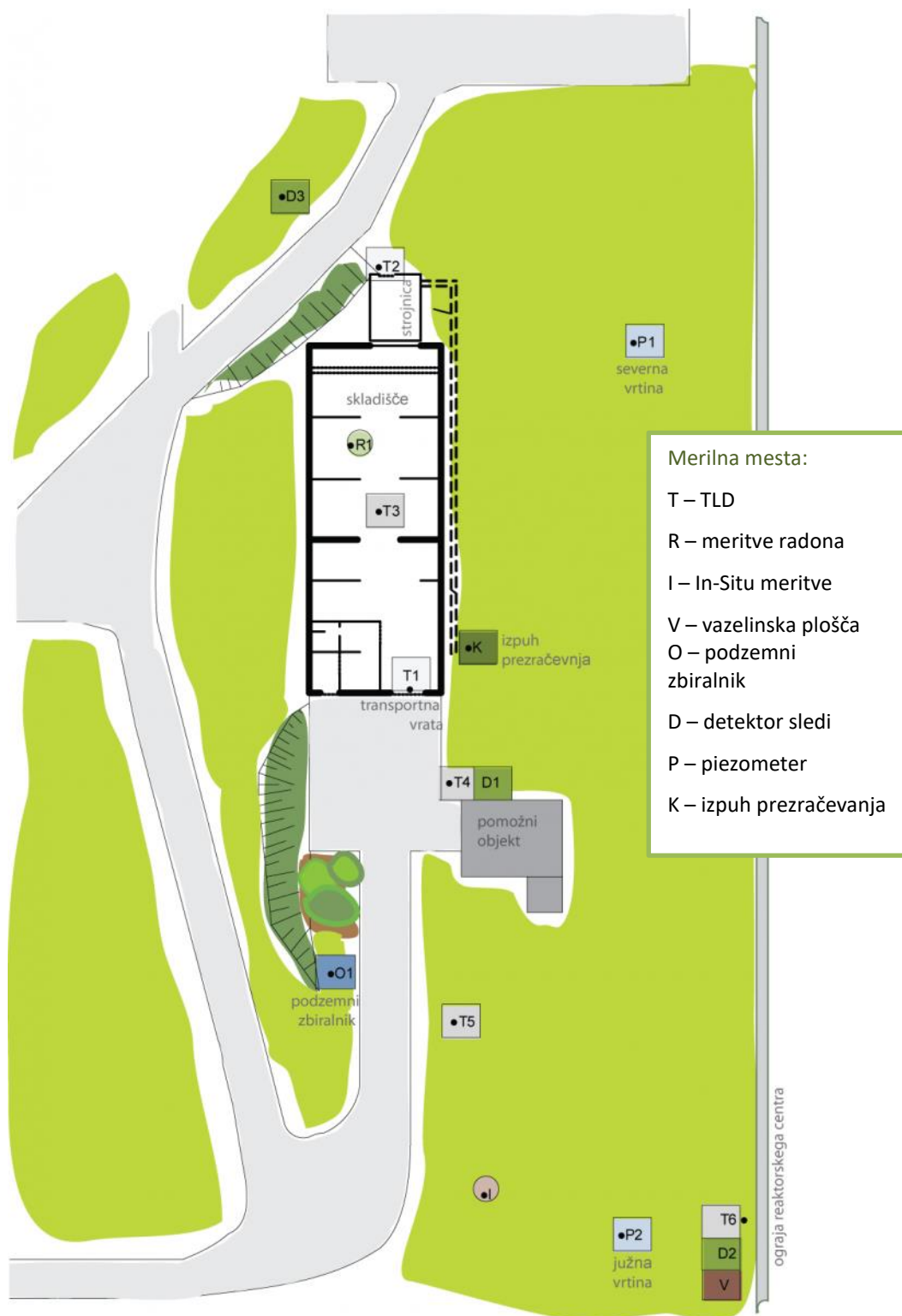
Pri izpostavljenosti referenčnih skupin prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri 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 0,02 μ Sv. Efektivna letna doza, ki sta jo prejela varnostnik in zaposleni na Reaktorskem centru je okrog 1 μ 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 2017.



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 avgustu 2017. 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 $3,5E-01$ Bq/m³. V preteklih letih smo izmerili zelo podobne aktivnosti, ki so primerljive s podatki o koncentracijah Cs-137 v površinskih vodah ali v pitni vodi iz vodovoda.

Za razliko od preteklih let, Am-241 v tem letu ni bil zaznan. Nazadnje je bil opažen v letu 2014, ko je bila njegova koncentracija na meji detekcije $5,3E-01$ Bq/m³. Podobno v cisterni 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 2017 je bila 180 Bq/m³.

2.3.2 ZRAK (radon v skladišču)

Vsako leto se izvajajo kontinuirne meritve radona v skladiščnem prostoru (enkrat v poletnem in enkrat 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 23. 6. 2017 do 10. 7. 2017 ter v zimskem obdobju od 21. 12. 2017 do 8. 1. 2018. 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.

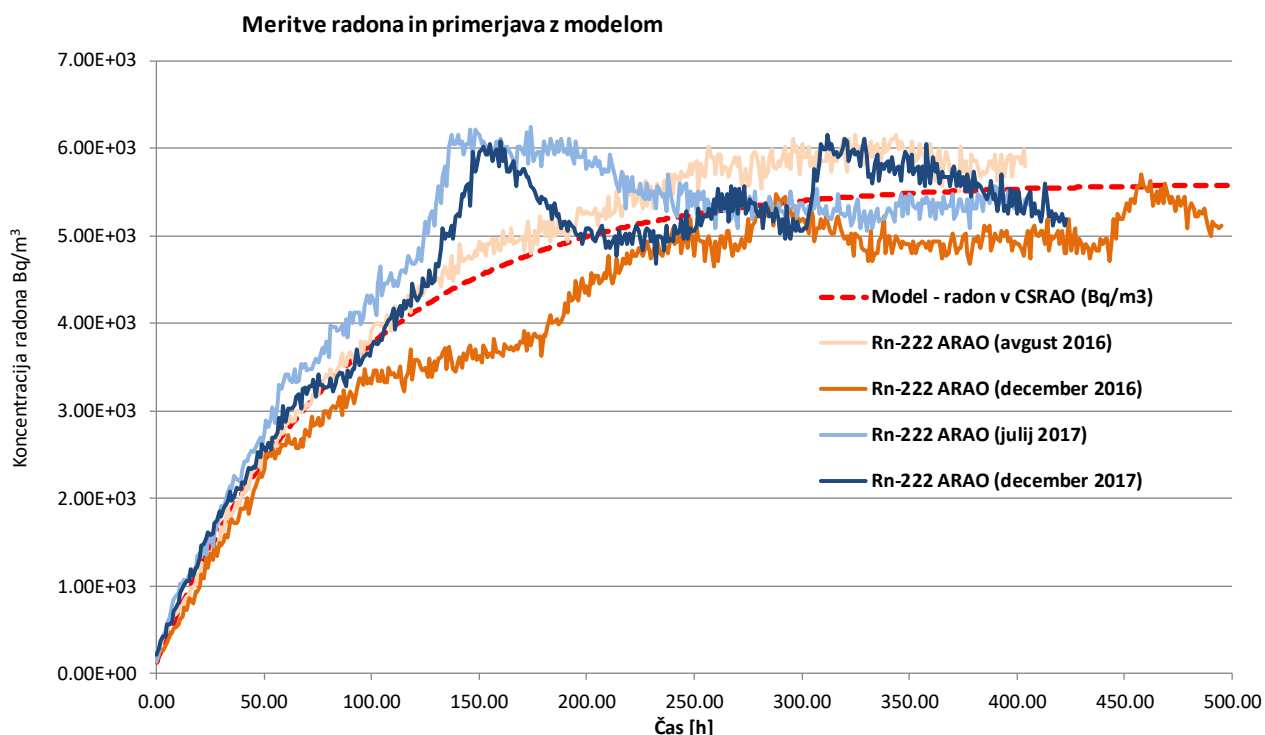
V letu 2017 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okrog 5500 Bq/m³ (največja izmerjena vrednost 6240 Bq/m³) v poletnem obdobju (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v zimskih mesecih je bila nekoliko nižja okrog 5400 Bq/m³ (največja izmerjena vrednost 6144 Bq/m³). Pri obeh meritvah so bili vremenski pogoji manj stabilni (nihanja v zračnem tlaku), kot v preteklih letih, tako da je bilo naraščanje koncentracije precej neenakomerno. V zadnjih letih opažamo, da ni izrazitih razlik med poletnimi in zimskimi meritvami. Kljub temu so opazne nekoliko višje ravnovesne koncentracije v poletnih mesecih kot v zimskih. Podobne efekte je mogoče opaziti pri sezonskih nihanjih radona v kraških jamah (npr. v Postojnski jami). Urna nihanja koncentracije so vezana na spremembe zunanega 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 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 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 sode, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je ravnovesna koncentracija radona v neprezračevanem skladiščnem prostoru po tem letu padla na 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 prilaganjem modelskih parametrov na realne meritve.

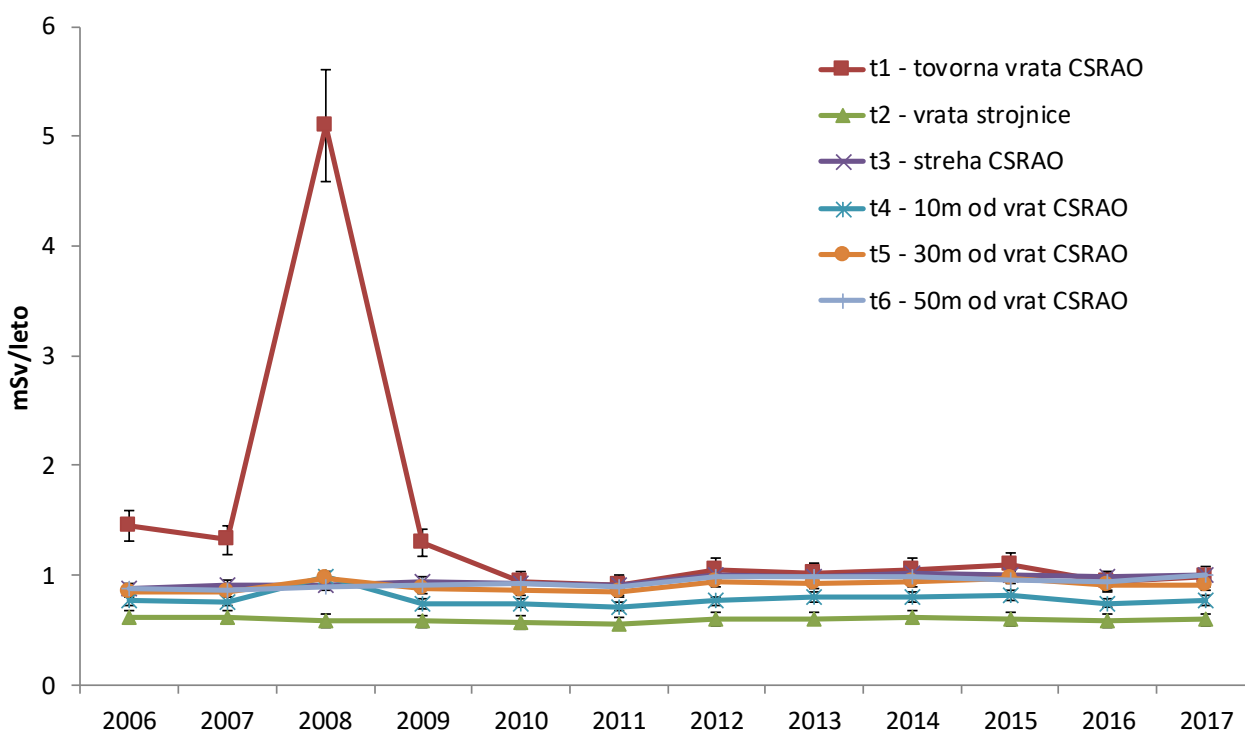


2.4 MERITVE V OKOLJU

2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

V okviru nadzora se izvajajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri na petih lokacijah in sicer na tovornih vratih CSRAO, na vratih strojnice, na strehi CSRAO, 10 m od tovornih vrat CSRAO in 30 m od tovornih vrat CSRAO. TL dozimetri se menjavajo enkrat mesečno. Dodatno se izvajajo meritve tudi na referenčni lokaciji na ograji Reaktorskega centra 50 m od CSRAO. Rezultati meritev so v tabeli 5 ter na grafih 2 in 3. Meritve je opravil IJS, Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, Laboratorij za TLD.

Izmerjena letna doza (okoljski ekvivalent doze $H^*(10)$) na zunanji strani tovornih vrat CSRAO je bila 0,99 mSv (0,93 mSv v letu 2016). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje sevanje ob vratih CSRAO primerljivo z naravnim ozadjem in bistveno nižje od zakonskih omejitev (0,5 μ Sv/h ali 1 mSv v 2000 urah). To je posledica prepakiranja RAO v ustreznejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanjega sevanja na okolje.



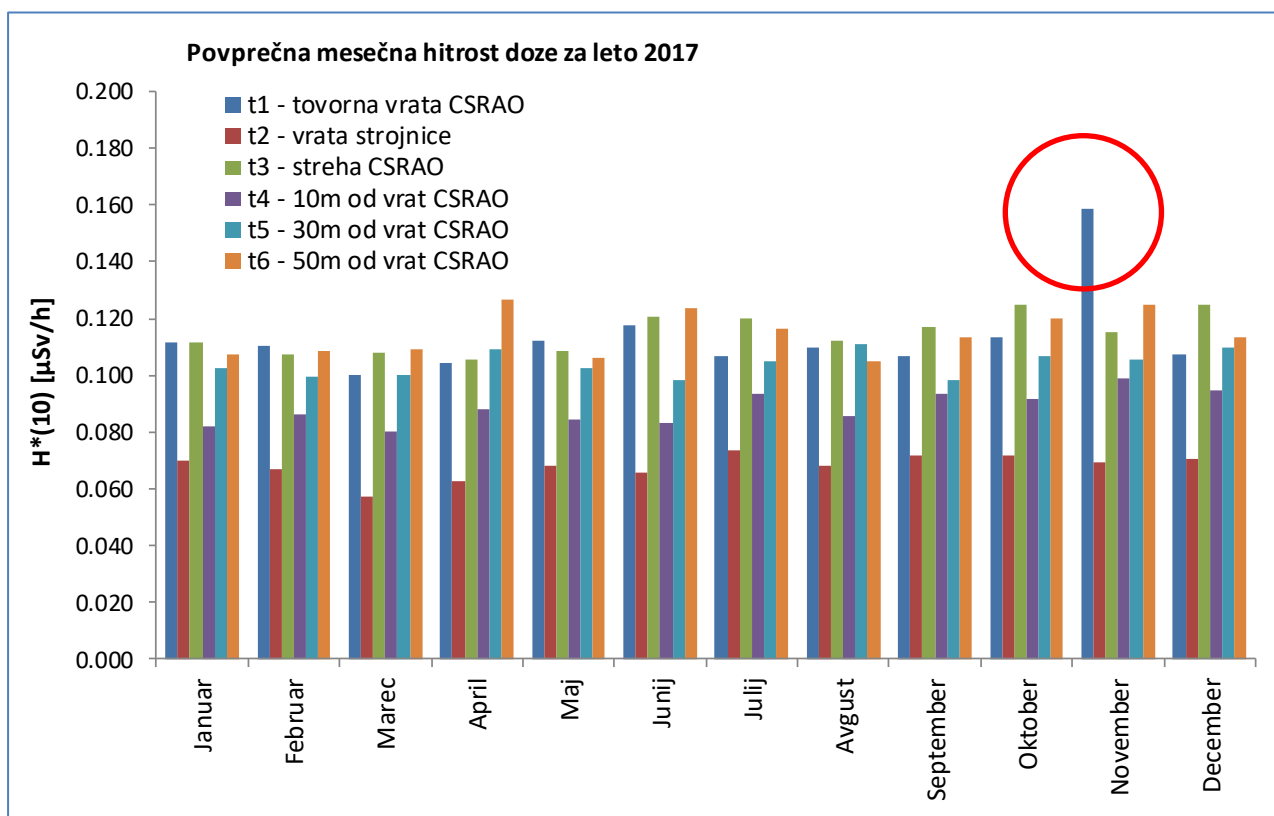
Graf 2: Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča (letne doze)

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 pred tovornimi vrati skladišča izmerjena v mesecu novembru 0,158 μ Sv/h, kar odstopa od ostalih meritev. V mesecu novembru so delavci ARAO pričeli s pripravo na izvajanje projekta obdelave zaprtih virov sevanja v OVC IJS. Zaprti viri sevanja so merilniki v procesni tehniki, merilniki nivoja ter radioaktivni strelководi. Viri sevanja so običajno Am-241, Cs-137, Co-60, Eu-152, Kr-85, začetnih aktivnosti do nekaj 10 GBq. Na



območju tovornih vrat je ARAO izvajal pripravo paketov zaprtih virov pred odvozom v OVC, ki je vključevalo sortiranje paketov ter meritve kontaminacije in hitrosti doze. Osebe ARAO je pazilo, da ni bilo nepooblaščenih oseb v okolici delovišča.

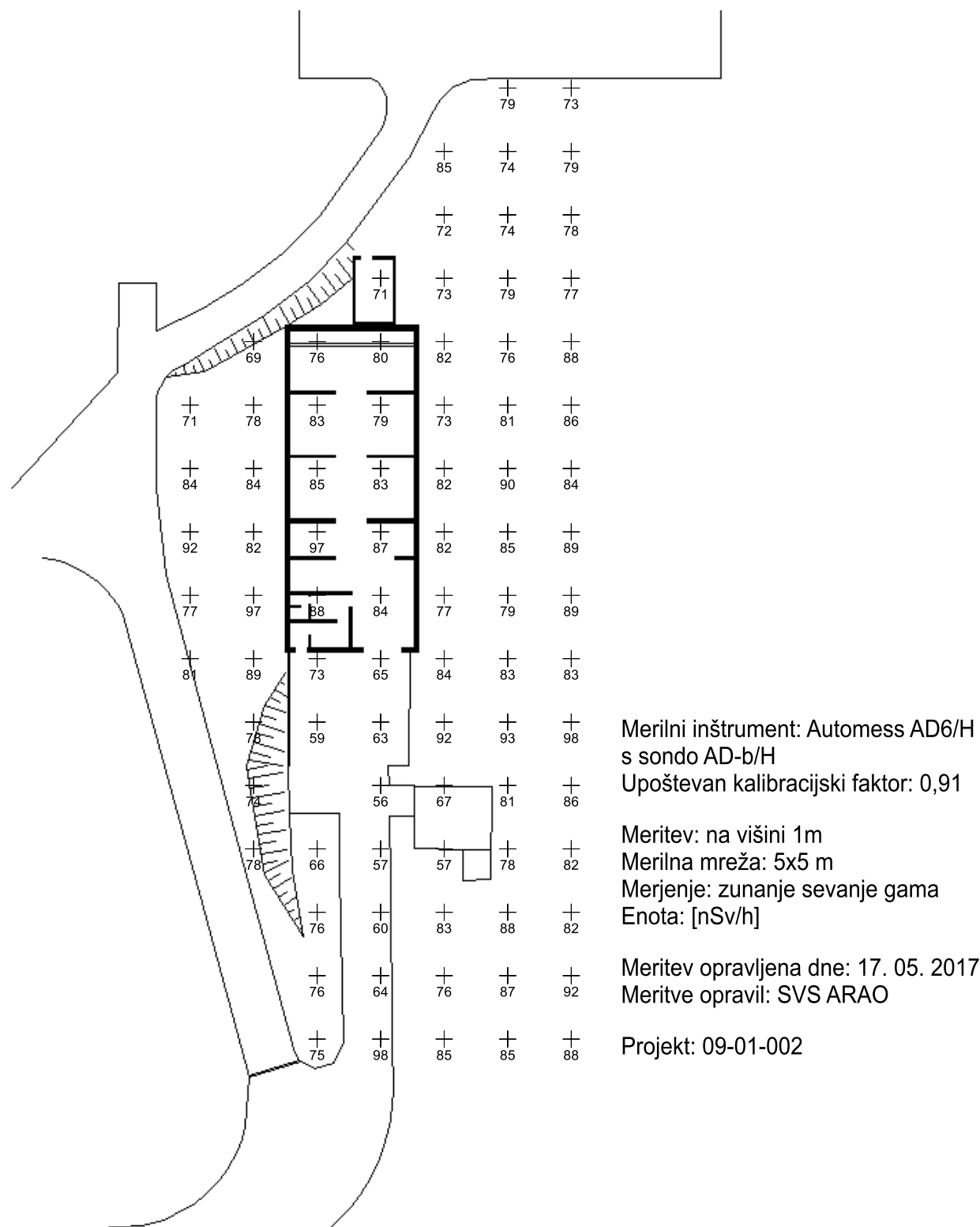
Pri ostalih lokacijah meritev ni bilo pomembnih odstopanj, razlike so bolj odvisne od sestave tal (naravne radioaktivnosti, deleža vlage v zemlji), kot od sevanja iz samega objekta. Izmerjena letna doza 10 m od vrat je bila 0,77 mSv (0,74 mSv v letu 2016) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 1,00 mSv (0,93 mSv mSv v letu 2016). Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja zanemarljiv.



Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča leta 2017. Izstopa hitrost doze v novembru pri transportnih vratih.

V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile v okolici skladišča v mreži 5 m × 5 m na višini 1 m izvedene tudi meritve hitrosti doze s prenosnimi merilniki (slika 2). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile od 0,056 µSv/h (na asfaltni površini pred objektom CSRAO) pa do največ 0,098 µSv/h na strehi objekta CSRAO in podobno tudi in 30 m od transportnih vrat.

Na sliki 3 so prikazane dodatne meritve, ki so jih izvedli delavci ARAO s pomočjo programske opreme za mapiranje doznega polja. Meritve so opravili neposredno na območju CSRAO ter dodatno tudi ob ograji Reaktorskega centra IJS. Grafični prikaz rezultatov meritev v obliki doznega polja je primerljiv s standardnim prikazom meritev na točkah, ki so bile predhodno določene s pomočjo merilne mreže. Vsi rezultati meritev hitrosti doze so primerljivi z meritvami TLD.

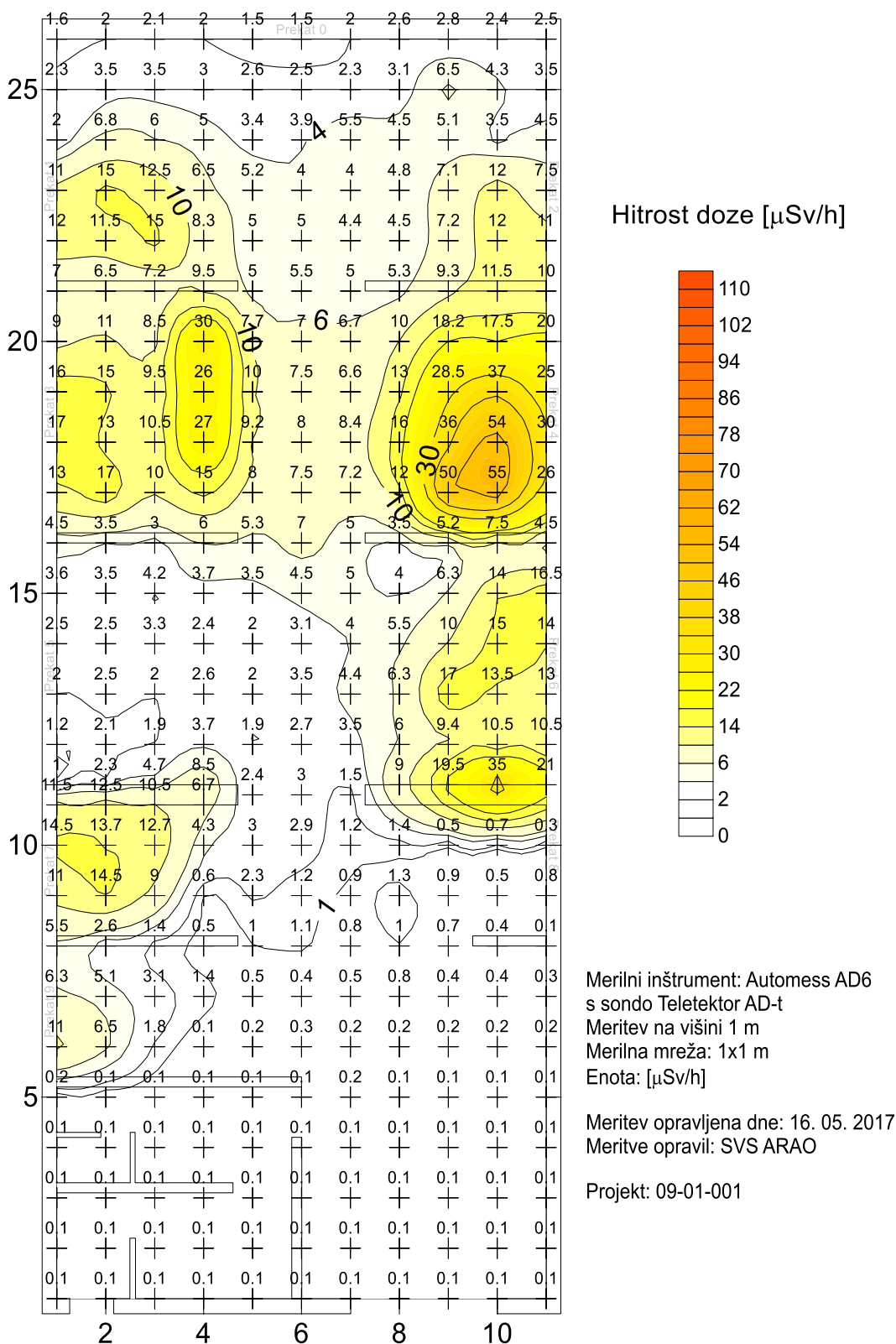


Slika 2: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO v maju 2017



Slika 3: Rezultati meritev hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] sevanja gama v ožji in širši okolici objekta CSRAO, predstavljeni s programsko opremo RouteMonitoring (maj 2017).

Na sliki 4 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanega sevanja na transportni poti med prekatih v skladiščnem prostoru so podobni kot v preteklem letu in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in nove razmestitve sodov. Sedaj se bolj aktivni sodi nahajajo globlje v prekatih. Največja izmerjena hitrost doze je bila okrog $55 \mu\text{Sv/h}$.



Slika 4: 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)

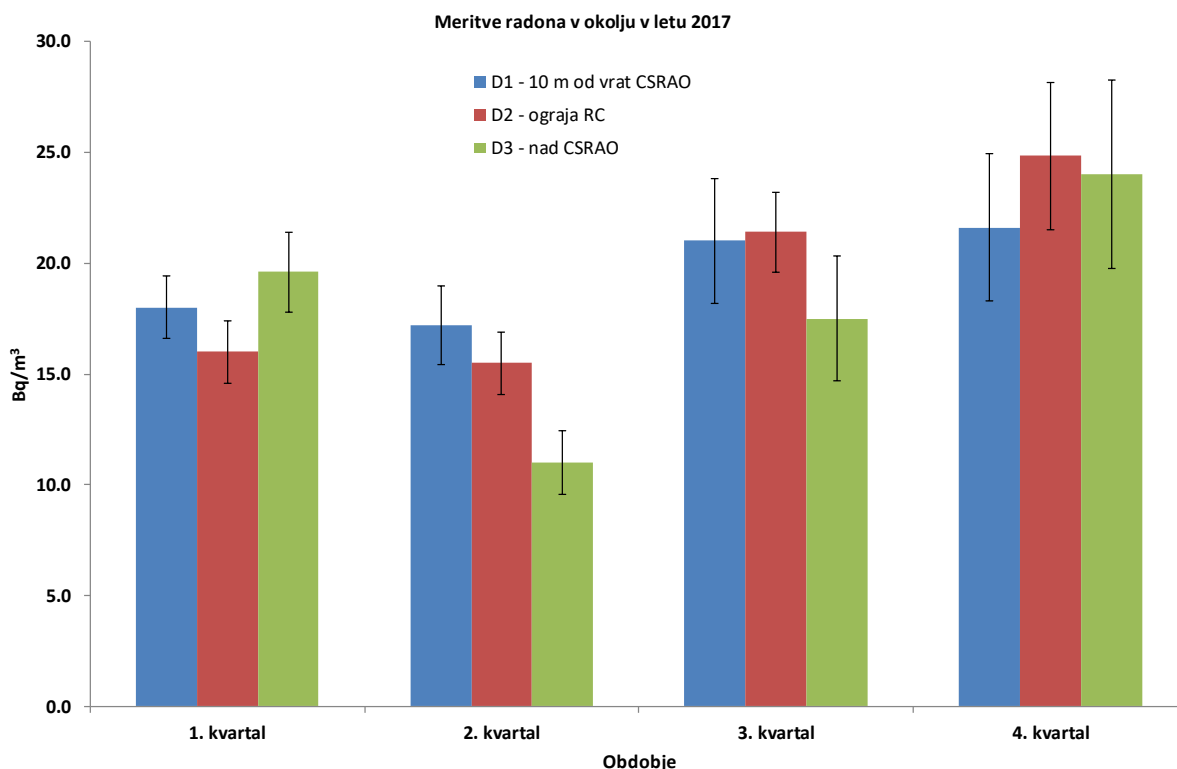
Meritve koncentracije radona v okolju se izvajajo z detektorji sledi (Rn etched-track detektorji), ki so integrirni merilniki. Detektorji sledi so bili nameščeni za obdobje treh mesecev (kvartalno). Meritve je izvajal ZVD na treh lokacijah (slika 1):

- 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.

Izrazito odstopata meritvi v 1. kvartalu nad CSRAO, kjer smo opazili bistveno odstopanje med obema detektorjema. Višja vrednost (38 Bq/cm^3) je najverjetneje posledica napake vzorčenja. Razlog za odstopanje ni pojasnjen. Kljub temu smo upoštevali uteženo povprečje obeh meritev.

Zaradi inverznih vremenskih pogojev je bila pričakovano na vseh mestih najvišja izmerjena koncentracija v zadnjem kvartalu. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji D1 (10 m od CSRAO) je bila $(19 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$. Na lokaciji D3 (nad CSRAO ob stavbi IJS) je bila povprečna koncentracija $(18 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ in na lokaciji D2 (ograja RC) je bila $(19 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$. 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. Izrazito odstopa rezultat na ograji RC zaradi neustreznega vzorčenja.



Na splošno so koncentracije radona v neposredni okolici skladišča takšne, kot jih običajno izmerimo drugod v Sloveniji – okrog 20 Bq/m³ (referenca: Letno poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v RS). Ob tem je treba poudariti, da ventilacija v skladiščnem prostoru obratuje nekaj ur na teden in so izpusti radona povišani le prvo uro po vklopu prezračevanja, medtem ko detektorji sledi merijo trimesečno povprečje. Iz primerjave meritev na različnih lokacijah v okolju ni mogoče ovrednotiti vpliva CSRAO zaradi izpustov radona, saj so izpusti tako majhni, da jih ni mogoče zaznati s tovrstno mersko metodo.

2.4.3 VODA (podtalnica)

Vzorci vode podtalnice so bili vzeti na južni vrtini (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.

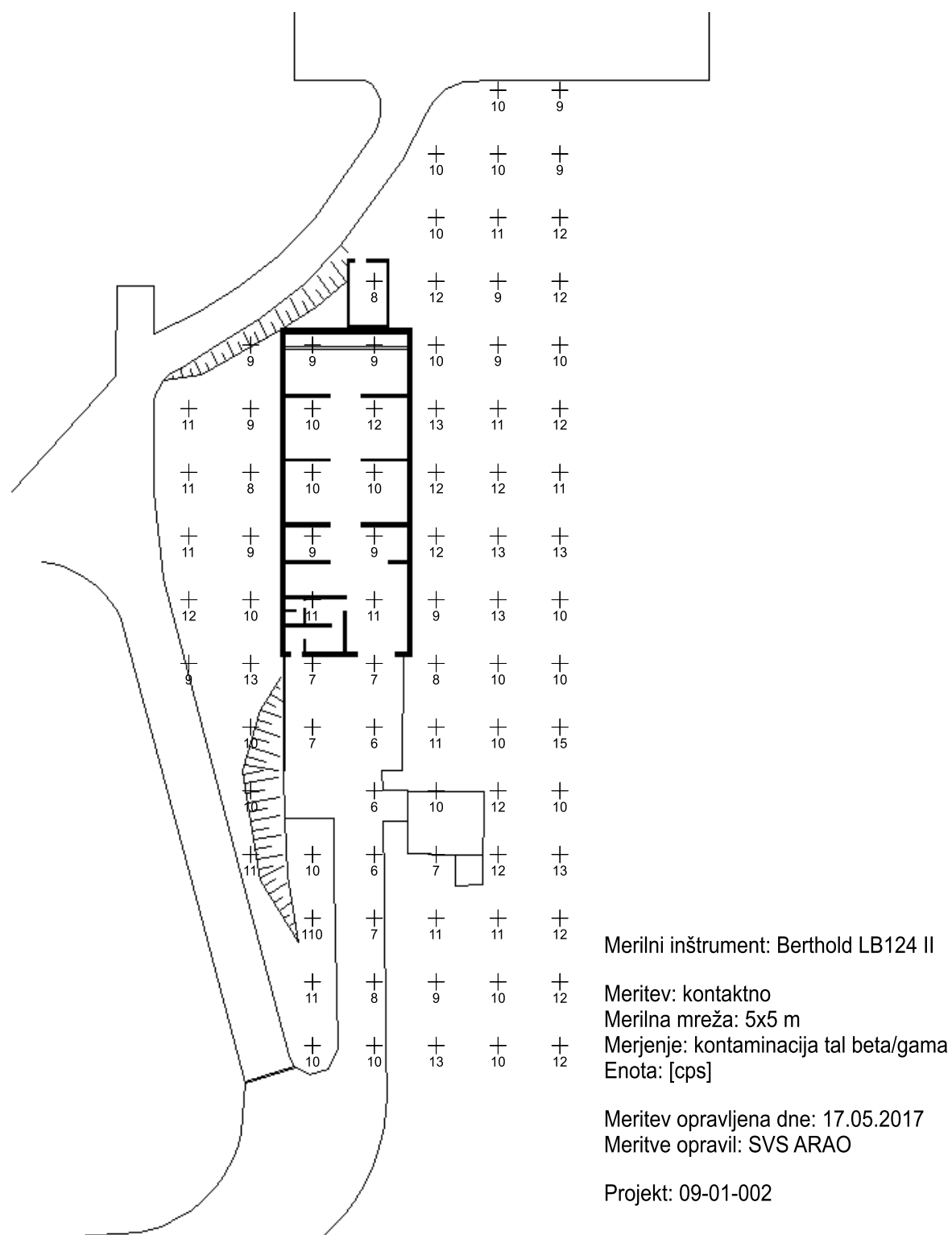
2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

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 ob upoštevanju enakomerne porazdelitve. Izmerjene vsebnosti naravnih radionuklidov in Cs-137 so običajne za naravno okolje. Slabše ujemanje smo zaznali pri upoštevanju površinske porazdelitve, kjer so običajne vrednosti okrog 1 kBq/m². Predlagamo, da ARAO in IJS (Odsek F2) preverita ustreznost kalibracije svojih spektrometrov za površinsko porazdelitev kontaminiranosti.

ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži 5 m × 5 m (slike 5). Rezultati meritev (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2017, 09-01-002/18-SVS-1) kažejo, da na transportni poti (asfaltirane površine pred objektom) ni prisotne kontaminacije alfa. Z meritvami površinske beta/gama kontaminacije je bilo zaznano le običajno naravno ozadje (6 – 15 s⁻¹). Predlagamo, da v bodoče ARAO izvaja meritve kontaminacije s sprenosnimi kontaminacijskimi sondami le na gladkih površinah (asfalt) v neposredni okolici objekta. Površinsko kontaminacijo na travnih površinah se vrednoti s spektrometrijo gama in-situ.



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



2.5.2 TALNI USED

V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji južno ob ograji 50 m od CSRAO, ki meri celoletni suhi used, nabran preko celega leta. Namen meritev useda na vazelinski plošči je ocena depozita radioaktivnosti v primeru izrednega dogodka.

Iz tabele 9 je razvidno, da je bil v talnem usedu izmerjen Ru-106 z aktivnostjo 1,5 Bq/m², ki je posledica »sveže« globalne kontaminacije. V mesecu oktobru so rutenij neznanega izvora v zraku zaznale skoraj vse Evropske države. V Sloveniji so bile izmerjene koncentracije v zraku velikostnega reda 10 mBq/m³.

Na vazelinski plošči so bili izmerjeni tudi 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 940 Bq/m² kar je primerljivo z običajno izmerjenimi aktivnostmi okrog 700 Bq/m². Aktivnost Berilija je predvsem odvisna od kozmičnega sevanja, mešanja zračnih mas in izpiranja atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

Na vazelinski plošči nismo zaznali morebitnega 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.

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 (8 ± 2) 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 (prehod radona 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 400 m² (običajna ekshalacija 0,02 Bq/m²s).



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

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2017 ocenjujemo na približno **0,26 GBq/leto**, kar je v okviru negotovosti primerljivo z leti od 2011 do 2016.

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 0,46 Bq/m³ nad ozadjem (običajno ozadje je okrog 20 Bq/m³).

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 8,3 Bq/s.

Oddaljenost od vira (m):	10	30	50	100
Disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ razred D:	0,8	0,1	0,04	1,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³)	6,65	0,83	0,33	0,08
Disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³)	14,95	1,66	0,58	0,17



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. Vpliv CSRAO preko te prenosne poti je bil nemerljiv.

3.3 OCENA PREJETE DOZE

Ocena izpostavitve je narejena na podlagi 27. Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Uradni list RS št. 83/16).

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 8,3 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 radona v dozo za okoliškega kmeta in varnostnika IJS - $7,87 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq}\cdot\text{ura})/\text{m}^3$.

Faktor je dobljen iz produkta doznega pretvorbenega faktorja $1,4 \text{ Sv}/(\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})$ za delovno okolje in pretvorbenega faktorja iz Bq/m^3 EEC v J/m^3 PAEC, ki je $20,8 \mu\text{J}/3700 \text{ Bq}$.

Podobno dobimo dozni faktor 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 ($\mu\text{Sv}/\text{leto}$)	0,55	0,02	1,16
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza ($\mu\text{Sv}/\text{leto}$)	0,55	0,02	1,16



4 MERSKI REZULTATI

4.1 PROGRAM NADZORA

Osnova za monitoring radioaktivnosti je Program nadzora okolja skladišča, ki je opredeljen v Varnostnem poročilu za CSRAO v Brinju, rev. 0, ARAO-0401026000/07, december 2007.

(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	Najmanj 2-krat letno

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 x 5 TLD

ZRAK

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Kontinuirane meritve koncentracije radona	Skladiščni prostor, prekat 3.	Zrak	-	Najmanj 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 × 3 × 2

VODA (podtalnica)

Vrsta in opis meritve	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve	Letno število meritev
Izotopska analiza, VL spektrometrija gama	p – 2 piezometer, južna vrtina p – 1 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	-	1-krat letno	1-krat letno
Alfa sevanje	Asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Delovne in pohodne površine	-	Kontrolno 2-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	2-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi
Beta sevanje	Neposredna okolica objekta CSRAO, asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Travnata tla, nasutja, delovne in pohodne površine	-	Kontrolno 2-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	2-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi
Gama sevanje	Neposredna okolica objekta CSRAO, asfaltne in betonske površine, umetne gladke površine	Travnata tla, nasutja	-	Kontrolno 2-krat letno, Manipulativne površine ob izvajanju del	2-krat letno, merilna mreža, manipulativne površine po potrebi
In-situ spektrometrija gama	Neposredna okolica objekta CSRAO	Travnata tla, neposredna okolica objekta CSRAO	-	Kontrolno 2-krat letno	2-krat letno, posam. točke merilne mreže

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	40 m 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	RA17-VN1-81 4. 8. 2017
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	2,6E+00 ± 6,0E-01
K-40	1,8E+02 ± 1,9E+01
Cs-137	3,5E-01 ± 1,5E-01
Pb-210	2,1E+00 ± 5,7E-01
Ra-226	2,7E+00 ± 3,4E-01
Ra-228	1,2E+00 ± 3,6E-01
Th-228	<4,8E-01
U-238	2,1E+00 ± 1,6E+00

4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: *Mesečne doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2017. 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
9.1. - 6.2. 2017	Januar	0,075	0,047	0,075	0,055	0,069	0,072
6.2. - 6.3.2017	Februar	0,074	0,045	0,072	0,058	0,067	0,073
6.3. - 12.4.2017	Marec	0,089	0,051	0,096	0,071	0,089	0,097
12.4. - 8.5.2017	April	0,065	0,039	0,066	0,055	0,068	0,079
8.5. - 12.6.2017	Maj	0,094	0,057	0,091	0,071	0,086	0,089
12.6. - 10.7.2017	Junij	0,079	0,044	0,081	0,056	0,066	0,083
10.7. - 4.8.2017	Julij	0,064	0,044	0,072	0,056	0,063	0,070
4.8. - 6.9.2017	Avgust	0,087	0,054	0,089	0,068	0,088	0,083
6.9. - 12.10.2017	September	0,092	0,062	0,101	0,081	0,085	0,098
12.10. - 6.11.2017	Oktober	0,068	0,043	0,075	0,055	0,064	0,072
6.11. - 6.12.2017	November	0,114	0,050	0,083	0,071	0,076	0,090
6.12.2017 - 8.1.2018	December	0,085	0,056	0,099	0,075	0,087	0,090
Letna doza (mSv):		0,99	0,59	1,00	0,77	0,91	1,00



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.

2017		Koncentracija [Bq/m ³]							
Lokacija	3. 1. - 3. 4. 2017	Uteženo povprečje	3. 4. - 3. 7. 2017	Uteženo povprečje	3. 7. - 2. 10. 2017	Uteženo povprečje	2. 10. - 4. 1. 2018	Uteženo povprečje	
D1 - 10 m od vrat CSRAO	21 ± 2	18,0 ± 1,4	14 ± 4	17,2 ± 1,8	20 ± 4	21,0 ± 2,8	23 ± 6	21,6 ± 3,3	
	15 ± 2		18 ± 2		22 ± 4		21 ± 4		
D2 - Ograja RC	16 ± 2	16,0 ± 1,4	17 ± 2	15,5 ± 1,4	21 ± 2	21,4 ± 1,8	23 ± 4	24,8 ± 3,3	
	16 ± 2		14 ± 2		23 ± 4		29 ± 6		
D3 - Nad CSRAO	15 ± 2	19,6 ± 1,8	11 ± 2	11,0 ± 1,4	19 ± 4	17,5 ± 2,8	25 ± 6	24,0 ± 4,2	
	38* ± 4		11 ± 2		16 ± 4		23 ± 6		

* Rezultat izrazito odstopajo od normalne koncentracije in od meritve drugega detektorja.

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:	RA17-VRP1-61 Severna vrtina 7. 6. 2017	RA17-VRP2-61 Južna vrtina 7. 6. 2017
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	2,3E+00 ± 8,1E-01	3,1E+00 ± 7,3E01
K-40	3,2E+01 ± 4,0E+00	3,5E+01 ± 4,4E+00
Cs-137	–	–
Pb-210	3,4E+00 ± 2,2E+00	< 2,5E+01
Ra-226	8,0E-01 ± 3,6E-01	< 1,2E+00
Ra-228	7,5E-01 ± 4,2E-01	< 1,3E+00
Th-228	< 6,9E-01	9,5E-01 ± 1,7E-01
U-238	< 8,8E+00	5,1E+00 ± 1,9E+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) 12. 10. 2017	3×3" NaI(Tl) – ARAO 12. 10. 2017
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	16 ± 4	–
K-40	305 ± 48	321 ± 64
Cs-137	19 ± 4	16 ± 5
Ra-226 (Bi-214)	42 ± 7	38 ± 15
Ra-228	32 ± 5	–
Th-228	31 ± 5	33 ± 6*
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m²)	
Be-7	760 ± 180	–
Cs-137	970 ± 160	462 ± 138

* Th-228 izračunan iz aktivnosti izmerjenega Tl-208 (12 Bq/kg) z upoštevanjem razvejitvenega deleža 35,9 %

4.2.6 Talni used

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

Oznaka vzorca:	RA17-PV1-M1 9. 1. 2017 – 8. 1. 2018
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	9,4E+02 ± 4,7E+01
K-40	2,2E+00 ± 4,0E-01
Ru-106	1,5E+00 ± 3,1E-01
Cs-137	1,9E-01 ± 1,6E-02
Pb-210	8,7E+01 ± 3,6E+00
Ra-226	2,8E-01 ± 8,9E-02
Ra-228	2,2E-01 ± 7,2E-02
Th-228	1,5E-01 ± 3,1E-02
U-238	<1,1E+00



4.3 ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

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

VODA

- Aktivnost se navaja v enotah Bq/m³.

ZEMLJA

- Aktivnost vzorcev zemlje se podaja v Bq/kg "osušene zemlje" in v Bq/m². Pri meritvah in-situ je aktivnost podana v Bq/kg mokre zemlje.

ZUNANJA DOZA

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

ZRAK

- Aktivnost radona brez podatkov o potomcih se podaja v Bq/m³.
- Aktivnost radonovih potomcev se podaja s koncentracijo radona v ravnovesju s potomci kot EEC - ekvivalentna ravnovesna koncentracija radona (Equilibrium Equivalent radon Concentration).
- Ravnovesni faktor F je ravnovesje med radonom in radonovimi potomci in se izraža kot razmerje med koncentracijo EEC in dejansko koncentracijo radona v Bq/m³: $F = EEC / Konc_{Rn-222}$



4.4 ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VL SPEKTROMETRIJO GAMA

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

Tabela 10: Spodnje detekcijske meje VLG na IJS

medij	VODA
enota	Bq/m ³
velikost vzorca	0,05 m ³
Be-7	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 (Ur. l. RS 20/07, 97/09) so bile v letu 2017 izvedene primerjave meritev okoljske TL dozimetrije z neodvisnimi meritvami ZVD. Primerjali smo rezultate meritev dozimetrov v mesecu avgustu (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 _{ZVD} /M _{IJS}	u-test
t1 - tovorna vrata CSRAO	4.8. - 6.9.2017	0,103 ± 0,010	0,087 ± 0,009	0,84	1,19
t2 - vrata strojnice	4.8. - 6.9.2017	0,063 ± 0,006	0,054 ± 0,005	0,86	1,08
t3 - streha CSRAO	4.8. - 6.9.2017	0,095 ± 0,010	0,089 ± 0,009	0,94	0,46
t4 - 10m od vrat CSRAO	4.8. - 6.9.2017	0,077 ± 0,008	0,068 ± 0,007	0,88	0,88
t5 - 30m od vrat CSRAO	4.8. - 6.9.2017	0,093 ± 0,009	0,088 ± 0,009	0,95	0,39
t6 - 50m od vrat CSRAO	4.8. - 6.9.2017	0,094 ± 0,009	0,083 ± 0,008	0,88	0,88

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. Vidimo tudi, da 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-2017 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil and Water

V letu 2017 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 zemlje določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in zemlje z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Obenem je IJS sodeloval tudi pri testu homogenosti teh vzorcev. Individualna poročila smo prejeli septembra 2017.



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

Vsi rezultati so sprejemljivi, razen za Pb-210 v vzorcu vode IARMA-048 (Warning) in za Ra-226 v vzorcu vode IARMA-049 (Not acceptable). V ostalih primerih so vrednosti Z-testa sprejemljive in so precej enakomerno razporejene okoli referenčne vrednosti. Z dodatnimi preveritvami smo identificirali vzoke za razhajanja. V obeh primerih je prišlo do razhajanj zaradi merskih rezultatov blizu mej detekcije in zaradi težav pri luščenju in ovrednotenju ploščin črt. Pri rednih meritvah preverjamo konsistentnost rezultatov z drugimi testi in s primerjavami s predhodnimi rezultati.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2017					
Sample IARMA-048, Water Sample					
analize IJS opravljene <i>avgusta 2017</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2017</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-60	3,20 ± 0,20	3,29 ± 0,10	2,8	0,3	A
Ba-133	2,30 ± 0,10	2,34 ± 0,09	1,7	0,2	A
Cs-134	6,20 ± 0,20	6,20 ± 0,20	0,0	0,0	A
Cs-137	3,50 ± 0,15	3,97 ± 0,12	13,4	1,3	A
Pb-210	1,80 ± 0,10	1,41 ± 0,23	-21,7	-2,2	W
Ra-226	3,35 ± 0,20	3,70 ± 0,90	10,5	1,0	A

IARMA ERAD-PT-2017					
Sample IARMA-049, Water Sample					
analize IJS opravljene <i>avgusta 2017</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2017</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-60	10,00 ± 0,40	10,27 ± 0,31	2,7	0,3	A
Ba-133	7,30 ± 0,30	7,47 ± 0,22	2,3	0,2	A
Cs-134	19,00 ± 0,60	19,00 ± 0,57	0,0	0,0	A
Cs-137	12,20 ± 0,40	12,24 ± 0,37	2,3	0,0	A
Pb-210	6,30 ± 1,00	6,30 ± 0,80	0,0	0,0	A
Ra-226	10,50 ± 0,70	13,80 ± 1,50	31,4	3,1	N



IARMA ERAD-PT-2017 Sample IARMA-050, Water Sample analize IJS opravljene avgusta 2017 , končni rezultati objavljeni septembra 2017					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-60	12,30 ± 0,40	12,74 ± 0,38	3,6	0,4	A
Ba-133	9,10 ± 0,30	8,90 ± 0,30	-2,2	-0,2	A
Cs-134	23,30 ± 0,60	23,30 ± 0,70	0,0	0,0	A
Cs-137	15,60 ± 0,40	15,00 ± 0,45	-3,8	-0,4	A
Pb-210	7,50 ± 0,50	7,50 ± 0,80	0,0	0,0	A
Ra-226	13,00 ± 1,00	15,20 ± 1,40	16,9	1,7	A

4.6.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, milk powder, Ca-carbonate and simulated filters samples , IAEA-TEL-2017-04

V maju 2017 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec mleka v prahu in vzorec kalcijevega karbonata 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 2017 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 57 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2017-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2017*].

V naslednjih 5 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 57 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 03 je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za ta vzorec. u-test in relativno odstopanje za ta vzorec smo določili sami. Vzorec vode št. 2 je vseboval mešanico svežih fisijskih produktov, ki običajno niso prisotni v vzorcih. Za ta vzorec smo dobili dodatno navodilo (priporočilo), da ga izmerimo takoj s časom meritve najmanj 10000 s, nato ponovno čez 15 dni s časom meritve med 20000 s in 80000 s, odvisno od izkoristka detektorja ter po 30 dnevih s časom meritve 80000 s. Ta vzorec je vseboval nekatere radionuklide, ki niso v knjižnicah, katere so v rabi pri običajnih analizah v LMR. Gre za radionuklide, ki imajo kratek razpolovni čas in jih v vzorcih iz okolja ne pričakujemo. Poleg tega so bili v vzorcu pari radionuklidov, ki niso v sekularnem ravnovesju in je bilo dinamiko razpada starša v hčerinski radionuklid treba posebej upoštevati pri izračunu aktivnosti. Organizator sicer za večino takih parov v končnem poročilu ni navedel aktivnosti hčerinskega radionuklida.

Izračun povprečnih vrednosti in kriterijev za primerjavo (Z-test):

robust average: $x^* = \text{median of } x_i (i=1,2,..p)$, robust standard deviation $s^* = 1.483 * \text{median of } |x_i - x^*|$,

z-test: $z = (\text{Reported-Value} - \text{TargetValue})/s^*$

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



REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-TEL-2017-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja 2017</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2017</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Ba-133	16,9 ± 0,5	17,5 ± 0,5	3,55	0,85	0,67	A
Cs-137	13,1 ± 0,4	12,8 ± 0,4	-2,29	-0,53	-0,50	A

IAEA-TEL-2017-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja in avgusta 2017</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2017</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Zr-95	8,00 ± 0,22	8,10 ± 0,3	1,25	0,27	0,17	A
Tc-99m	53,8 ± 2,2	62,0 ± 2,0	15,24	2,76	1,19	W
Mo-99	55,9 ± 1,9	58,0 ± 2,0	3,76	0,76	0,21	A
Ru-103	3,94 ± 0,12	–	–	–	–	–
I-132	54,1 ± 2,2	48,7 ± 1,5	-9,98	-2,03	-0,69	A
Ba-140	37,1 ± 1,1	39,0 ± 1,2	5,12	1,17	0,54	A
Ce-141	15,7 ± 0,4	16,2 ± 0,5	3,18	0,78	0,56	A
Ce-143	48 ± 4	–	–	–	–	–
Ce-144	1,85 ± 0,24	–	–	–	–	–
Nd-147	15 ± 0,5	–	–	–	–	–
Np-239	3100 ± 70	3400 ± 100	9,68	2,46	0,83	W



IAEA-TEL-2017-04 Sample 04, Milk powder analize IJS opravljene <i>maja 2017</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2017</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Ba-133	137,4 ± 5,0	154,0 ± 5,0	12,08	2,35	1,04	A
Cs-137	98,6 ± 5,0	106,0 ± 3,0	7,51	1,27	0,93	A

IAEA-TEL-2016-04 Sample 05, Ca-carbonate analize IJS opravljene <i>julija in avgusta 2017</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2017</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Ra-226	6970 ± 200	6650 ± 200	-4,59	-1,13	-0,39	A
Ra-228	90 ± 4	84,5 ± 3,5	-6,11	-1,03	-0,3	A

IAEA-TEL-2017-04 Sample 03, Spiked Water, QC sample analize IJS opravljene <i>maja 2017</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Final score	
	(Bq/kg)					
Co-60	124 ± 5	122 ± 6	1,61	0,26	A	
Ba-133	177 ± 10	181 ± 6	-2,26	-0,34	A	
Eu-152	205 ± 8	196 ± 7	4,39	0,85	A	



Po prejemu rezultatov interkomparacije je bila izvedena dodatna analiza vzorca vode št. 2, reevalvacija kratkoživega Tc-99m in evalvacija aktivnosti radionuklidov, ki niso bili poročani v predvidenem roku. V spodnji tabeli so vključeni vsi radionuklidi, ki so bili detektirani, tudi tisti, ki jih nismo poročali. Glede na kriterije sprejemljivosti IAEA (Accuracy in Precision kot sta definirana v individualni evalvaciji IAEA) je bila določena stopnja sprejemljivosti (Final Score). Iz tabele je mogoče razbrati, da so aktivnosti vseh radionuklidov, ki niso bili poročani, sprejemljive.

IAEA-TEL-2017-04 Sample 02, Spiked Water vključeni vsi detektirani radionuklidi						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 57	Rel. Bias %	ζ-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Zr-95	8,00 ± 0,22	8,10 ± 0,3	1,25	0,27	0,17	A
Tc-99m	53,8 ± 2,2	57,5 ± 2,0	15,24	2,76	1,19	A
Mo-99	55,9 ± 1,9	58,0 ± 2,0	3,76	0,76	0,21	A
Ru-103	3,94 ± 0,12	4,06 ± 0,14	3,05	0,65	–	A
I-132	54,1 ± 2,2	48,7 ± 1,5	–9,98	–2,03	–0,69	A
Ba-140	37,1 ± 1,1	39,0 ± 1,2	5,12	1,17	0,54	A
Ce-141	15,7 ± 0,4	16,2 ± 0,5	3,18	0,78	0,56	A
Ce-143	48 ± 4	56,9 ± 5,94	18,54	1,24	–	A
Ce-144	1,85 ± 0,24	1,97 ± 0,1	6,49	0,46	–	A
Nd-147	15 ± 0,5	14,92 ± 1,44	–0,53	–0,05	–	A
Np-239	3100 ± 70	3400 ± 100	9,68	2,46	0,83	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 2017, ARAO 09-01-002/ME/18-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. 76/2017)
- Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur.l. RS, št. 49/2004)
- 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-08/07</i>	Priprava vzorcev za viskoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/08</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-27/05</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-09/01</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



LMR-RP-04/01 Seznam in kratek opis algoritmov za analizo spektrov na VLG
LMR-RP-05/03 Ocena merilne negotovosti

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

Organizacijski postopki

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

Delovna navodila

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

Kontrolni postopki

TLD-KP-03/04 Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov

Računski postopki

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