

IJS delovno poročilo
IJS-DP-12277
Ljubljana, februar 2017

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2016

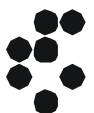


Izvajalca meritev:

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 2016

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-12277

Štev. projekta ARAO: 09-01-002

Štev. pogodbe ARAO: ARAO P013/2016

Izvajalci meritev na IJS: Drago Brodnik, Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., mag. Denis Glavič-Cindro,
Sandi Gobec, dr. Marijan Nečemer, mag. Branko Vodenik,
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	21.2.2017	
<i>Pregledala</i>	dr. Marijan Nečemer	21.2.2017	
	mag. Denis Glavič-Cindro	21.2.2017	
<i>Odobril</i>	prof. dr. Jadran Lenarčič	21.2.2017	

Slika na naslovnici: Centralno skladišče radioaktivnih odpadkov v Brinju (fotografija ARAO)



IJS-DP-12277
februar 2017

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2016

KLJUČNE BESEDE:

radioaktivno onesnaženje okolja, tekočinski radioaktivni izpusti, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, doza zunanjega 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 2016 je bila dozna obremenitev na posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,02 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-12277
February 2017

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2016

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 2016 the effective dose is conservatively estimated to 0.02 μSv per year for the reference group (local farmer).



VSEBINA

1	Uvod	IV
2	Ovrednotenje meritev	1
2.1	Povzetek	1
2.2	VZORČEVALNA MESTA	2
2.3	EMISIJE	3
2.3.1	VODA (podzemni rezervoar)	3
2.3.2	ZRAK (radon v skladišču)	3
2.4	MERITVE V OKOLJU	5
2.4.1	ZUNANJE SEVANJE.....	5
2.4.2	ZRAK (radon v okolju).....	10
2.4.3	VODA (podtalnica).....	11
2.5	VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI	11
2.5.1	MERITVE KONTAMINACIJE TAL	11
2.5.2	TALNI USED.....	14
3	Ocena vpliva na okolje.....	14
3.1	Atmosferski izpusti	14
3.2	Tekočinski izpusti.....	15
3.3	Ocena prejete doze	16
4	Merski rezultati	18
4.1	Program nadzora	18
	(A) - Meritve emisij	18
	(B) - Meritve imisij	19
	(C) – Vzdrževanje pripravljenosti	20
4.2	Tabele meritev programa A, B in C	21
4.2.1	Voda (podzemni rezervoar).....	21
4.2.2	Zunanje sevanje.....	22
4.2.3	Zrak.....	22
4.2.4	Voda (podtalnica)	23
4.2.5	Meritve kontaminacije tal	23
4.2.6	Talni used	24
4.3	Enote in nazivi količin	24
4.4	Orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG spektrometrijo.....	25
4.5	Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev	26
4.5.1	International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo.....	26
4.5.2	IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija	28
4.6	Referenčna dokumentacija	30



1 UVOD

V poročilu so podani in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v Centralnem skladišču radioaktivnih odpadkov (CSRAO) v Brinju za leto 2016. 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 17025:2005* 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 2016 je ARAO v skladiščnem prostoru objekta CSRAO in na lokaciji CSRAO 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. 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 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 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 7 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 2015 ocenjujemo na okrog 0,21 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

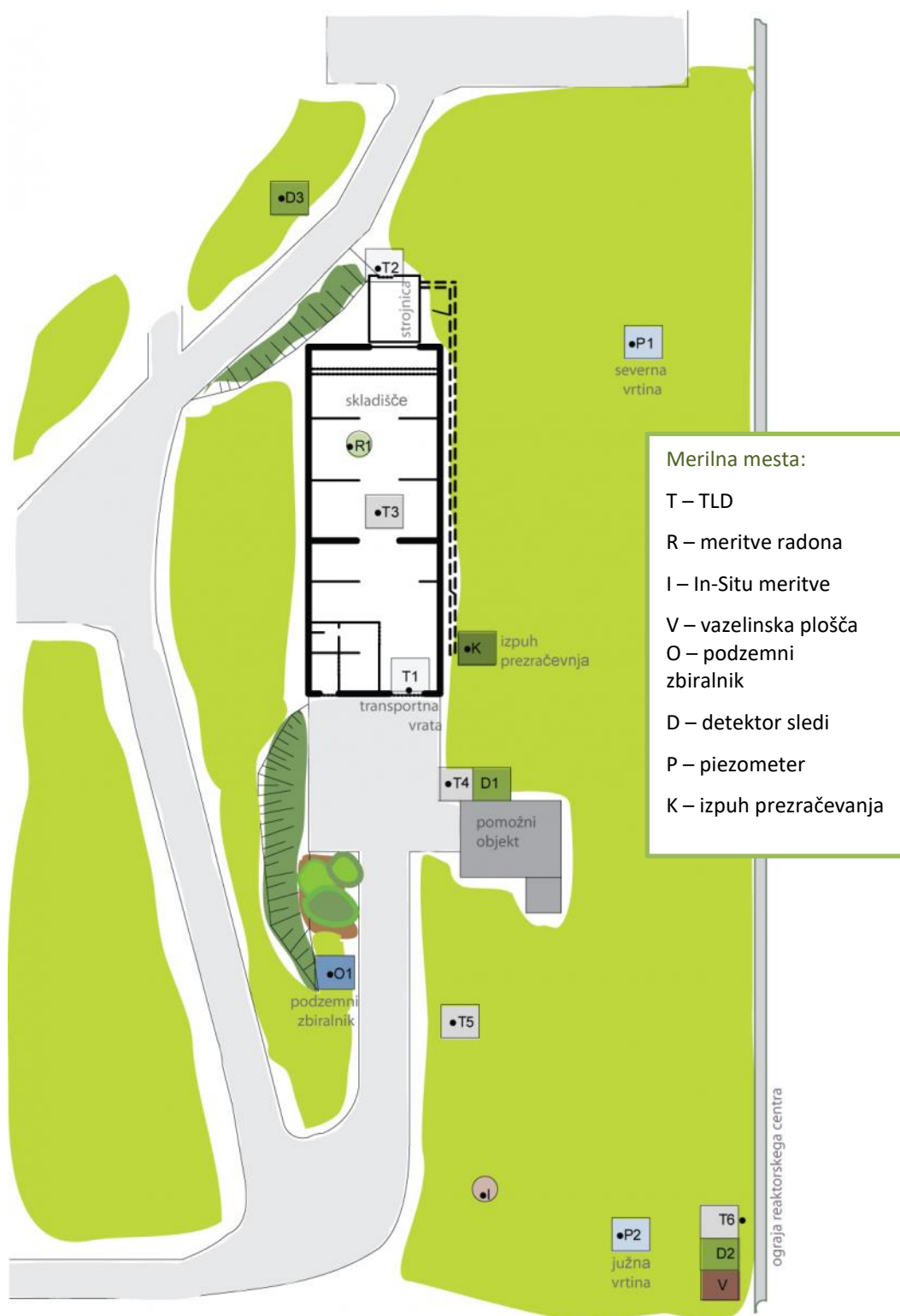
Pri izpostavljenosti referenčnih skupin prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri 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 manjša kot 1 μ Sv.



2.2 VZORČEVALNA MESTA

Na sliki 1 so podane lokacije vzorčenja iz programa nadzora radioaktivnosti za leto 2016.



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 g) ob pomožnem objektu. V njem se zbira odpadna sanitarna voda iz umivalnice prostorov za osebje in kondenzat sušenja zraka iz skladiščnega prostora. Vzorčenje in meritve vode v podzemnem rezervoarju je opravil IJS v maju in novembru 2016. 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 njegova najvišja izmerjena aktivnost $9,5E-01 \text{ Bq/m}^3$ (drugi vzorec). V letu 2015 je bila aktivnost zelo podobna $3,0E-01 \text{ Bq/m}^3$.

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 $5,3E-01 \text{ Bq/m}^3$. 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. Minimalno izstopa K-40, katerega najvišja izmerjena aktivnost je bila 340 Bq/m^3 .

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 skladišča. Radon je žlahtni plin, ki kljub temu, da zatesnimimo vse prezračevalne odprtine, še vedno uhaja iz prostora skozi majhne razpoke.

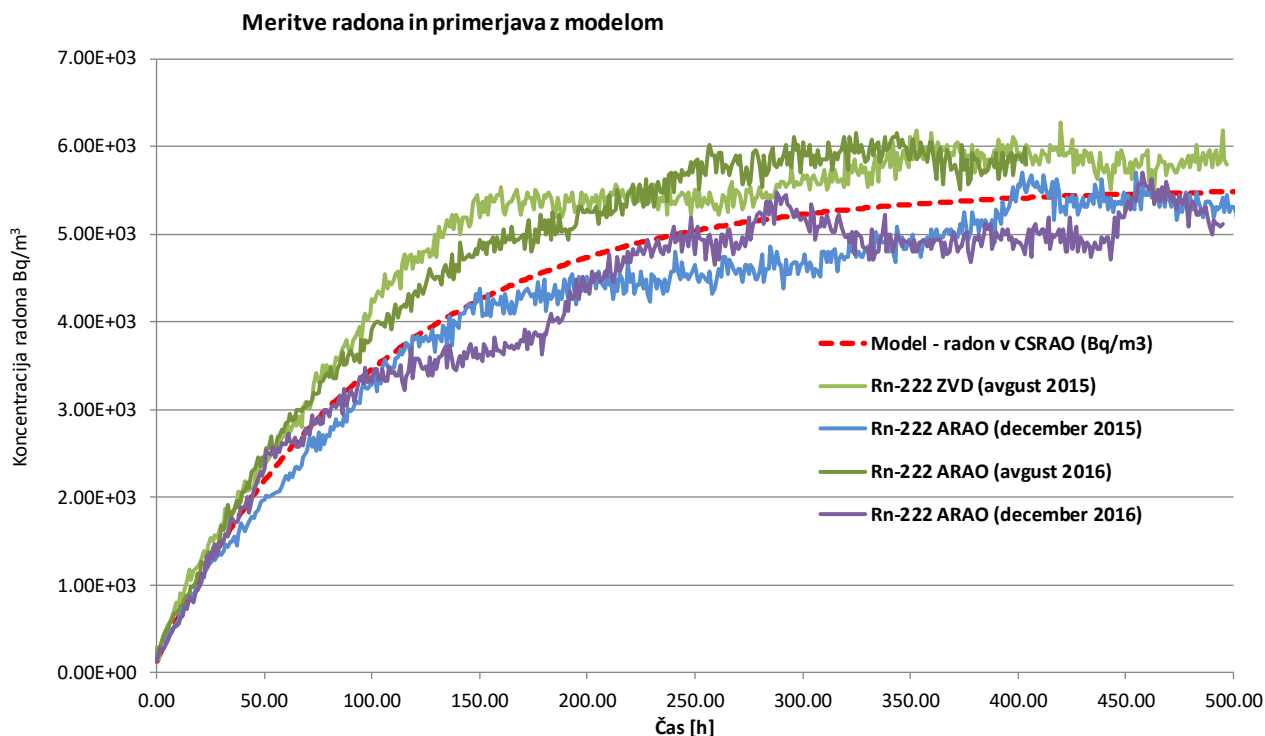
Meritve radona je opravila služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnim merilnikom radona AlphaGuard in sicer v poletnem času od 19. 8. 2016 do 5. 9. 2016 ter v zimskem obdobju od 16. 12. 2015 do 6. 1. 2017. Merilnik je bil nameščen med prekatoma 3 in 4. V poletnem obdobju je meritve naraščanja koncentracij radona opravil tudi pooblaščen izvajalec meritev ZVD. Odstopanje med meritvami ARAO in ZVD so bila minimalna.

V letu 2016 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okrog 5900 Bq/m^3 (največja izmerjena vrednost 6144 Bq/m^3) v poletnem obdobju (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v zimskih mesecih je bila nekoliko nižja okrog 5100 Bq/m^3 (največja izmerjena vrednost 5696 Bq/m^3). V zadnjih letih opazimo, da ni izrazitih razlik med poletnimi in zimskimi meritvami. Kljub temu so opazne nekoliko višje ravnovesne koncentracije v poletnih mesecih kot v zimskih. 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 kot v poletnih mesecih. Podobne efekte je mogoče opaziti pri sezonskih nihanjih radona v kraških jamah (npr. v Postojnski jami).



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 koncentracije 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 skladišča. 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 prileganjem modelskih parametrov na realne meritve.

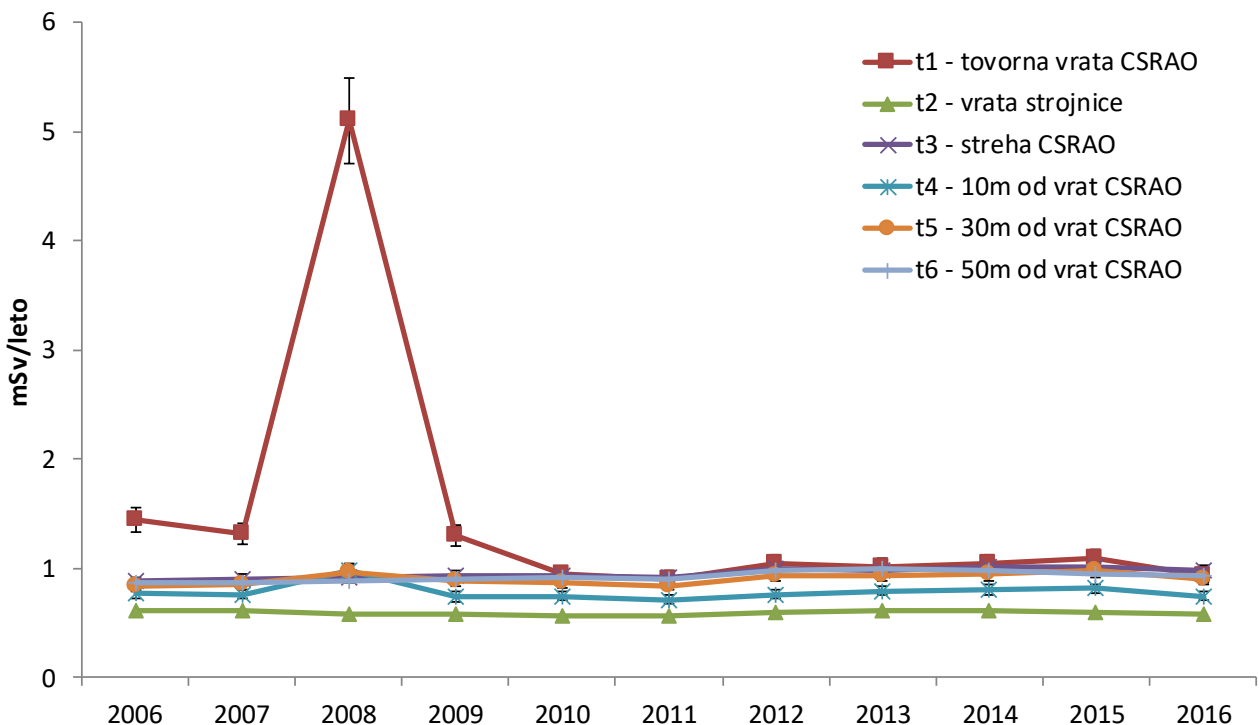


2.4 MERITVE V OKOLJU

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 0,93 mSv (1,09 mSv v letu 2015). Iz grafa 2 je razvidno, da je v zadnjih letih zunanje sevanje ob vratih CSRAO že primerljivo z naravnim ozadjem in bistveno nižje od zakonskih omejitev (0,5 μ Sv/h ali 1mSv v 2000 urah). To je posledica prepakiranja RAO v ustrežnejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO, ki preprečuje vpliv zunanjega sevanja na okolje.



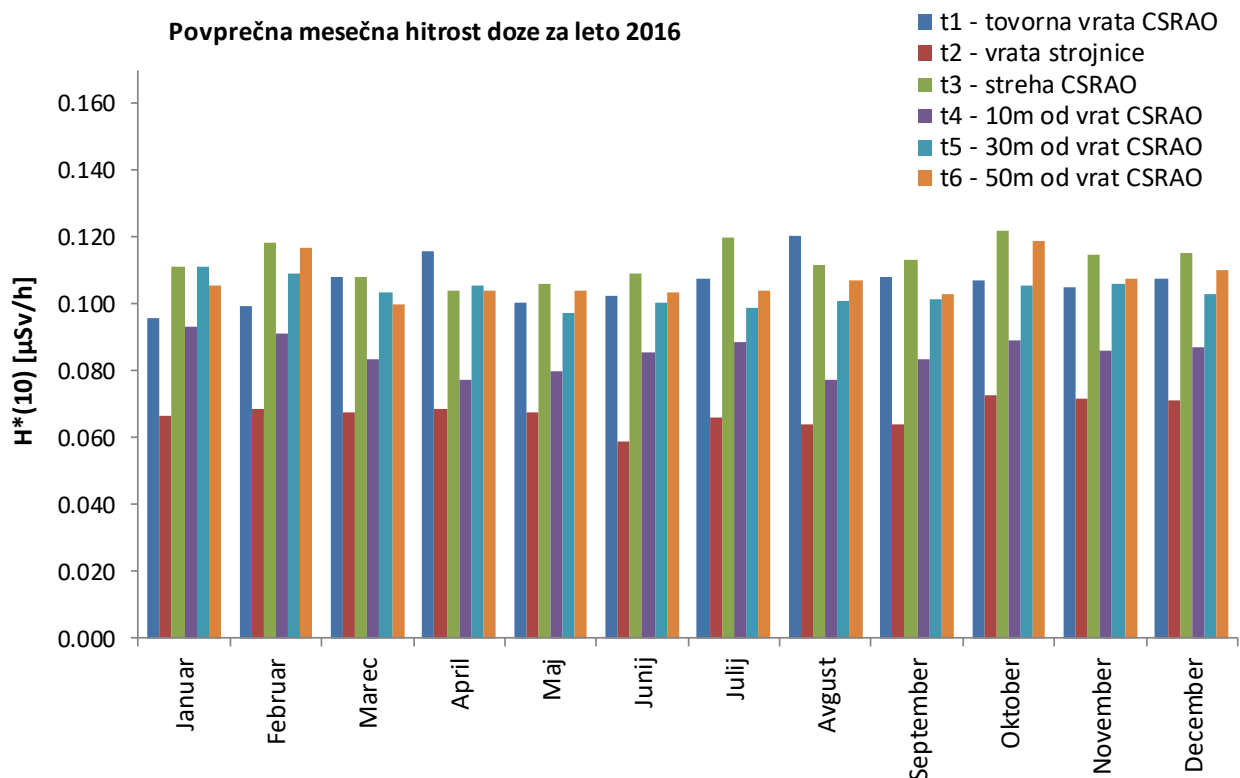
Graf 2: Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča

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 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena povprečna hitrost doze na strehi skladišča izmerjena v mesecu juliju 0,122 μ Sv/h, kar je podobno kot v preteklem letu. Skupna letna doza na strehi objekta je bila 0,98 mSv (1,01 mSv v letu 2015).



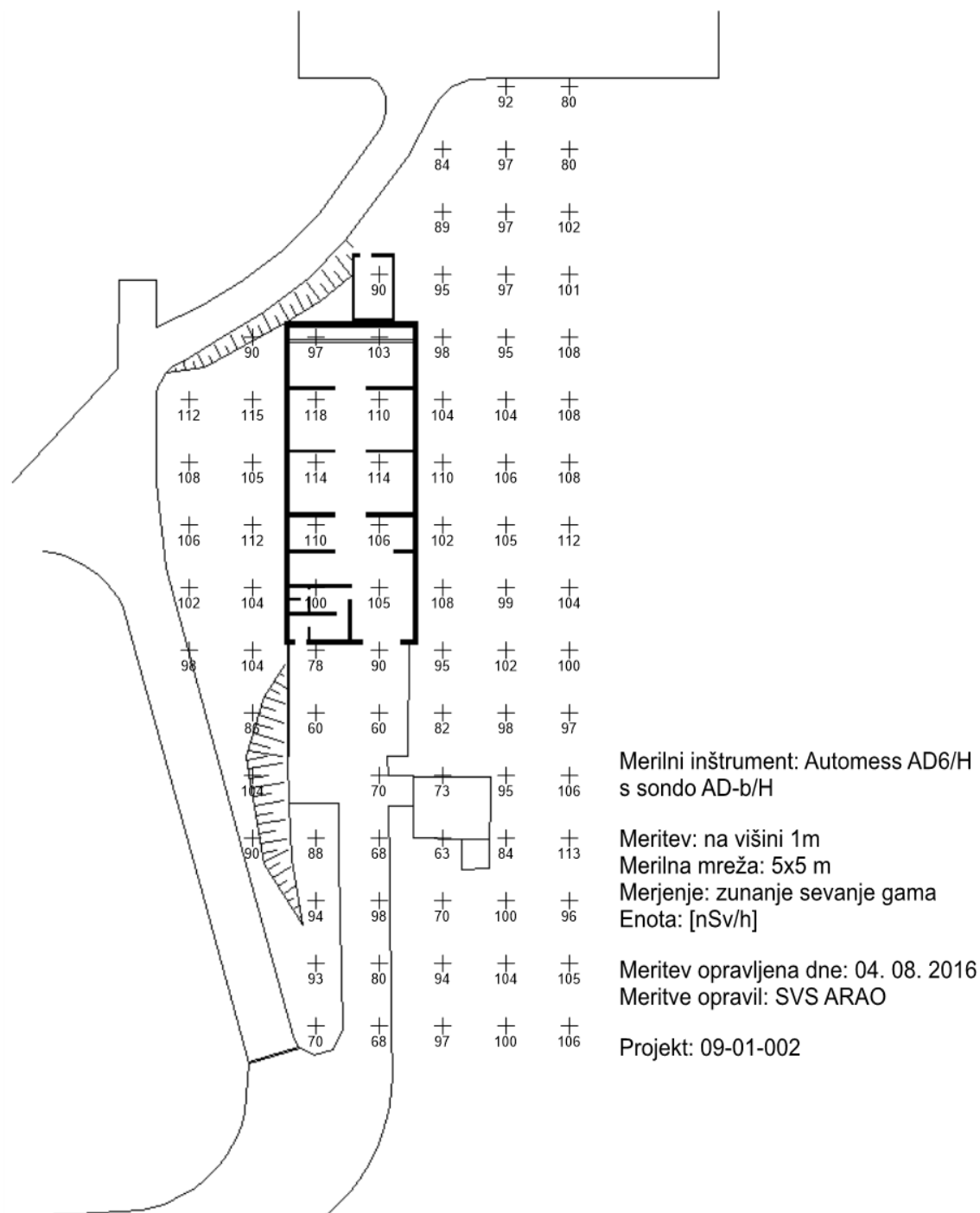
Za razliko od preteklega leta, ko je v neposredni okolici potekala aktivnost prepakiranja sodov na nove kovinske palete in so bili opazni povišani nivoji sevanja, v tem letu na transportni poti ni mogoče opaziti odstopanj od običajnega naravnega ozadja.

Razlike med posameznimi lokacijami 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 0,74 mSv (0,81 mSv v letu 2015) in je bila nižja kot na lokaciji 30 m od vrat ali na referenčni lokaciji na ograji RC 0,93 mSv (0,95 mSv v letu 2015). Lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja nemerljiv.

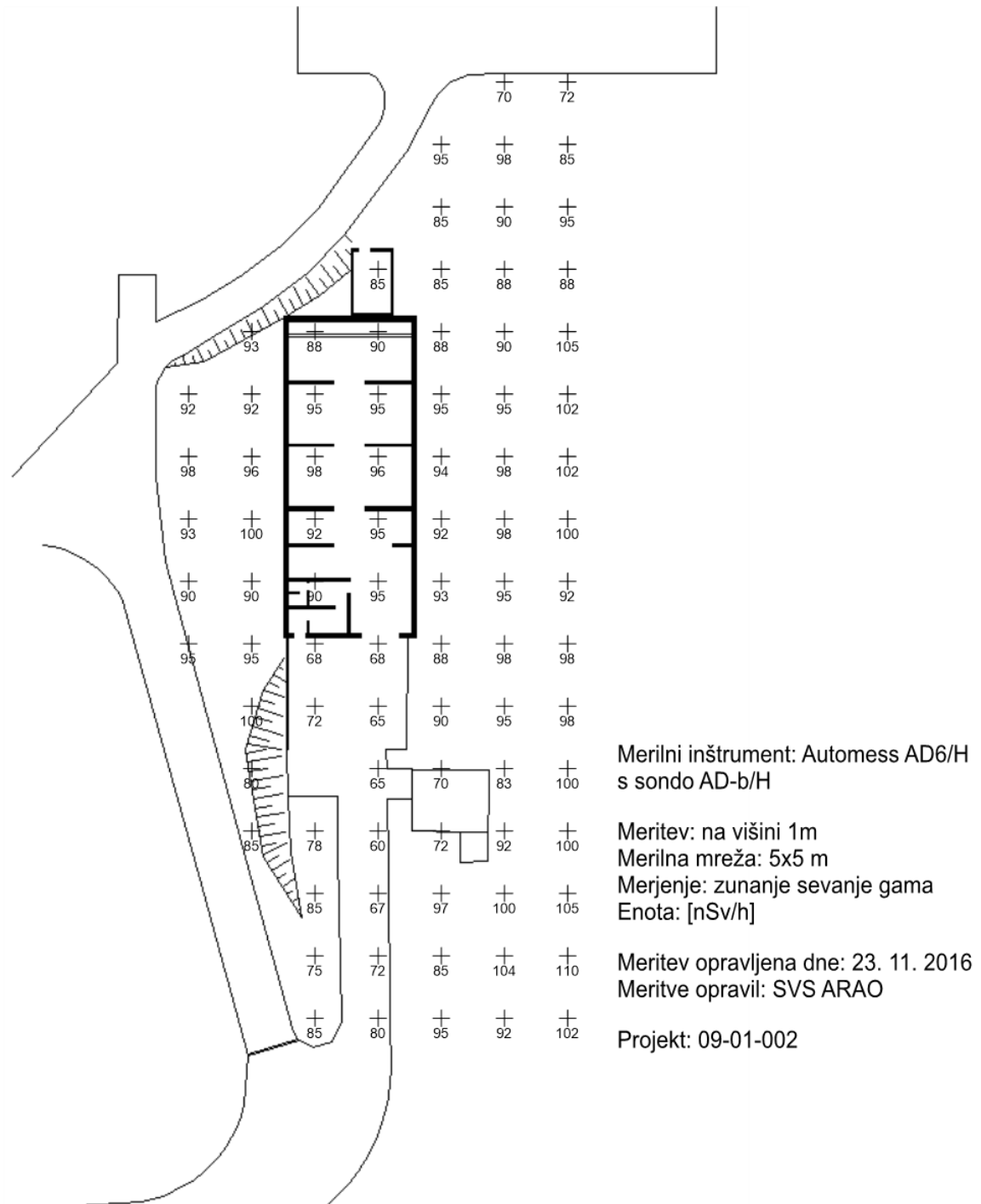


Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča leta 2016.

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 (sliki 2 in 3). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile od 0,06 µSv/h (na asfaltni površini pred objektom CSRAO) pa do največ 0,114 µSv/h (na strehi objekta CSRAO). Vrednosti so primerljive z meritvami TLD.

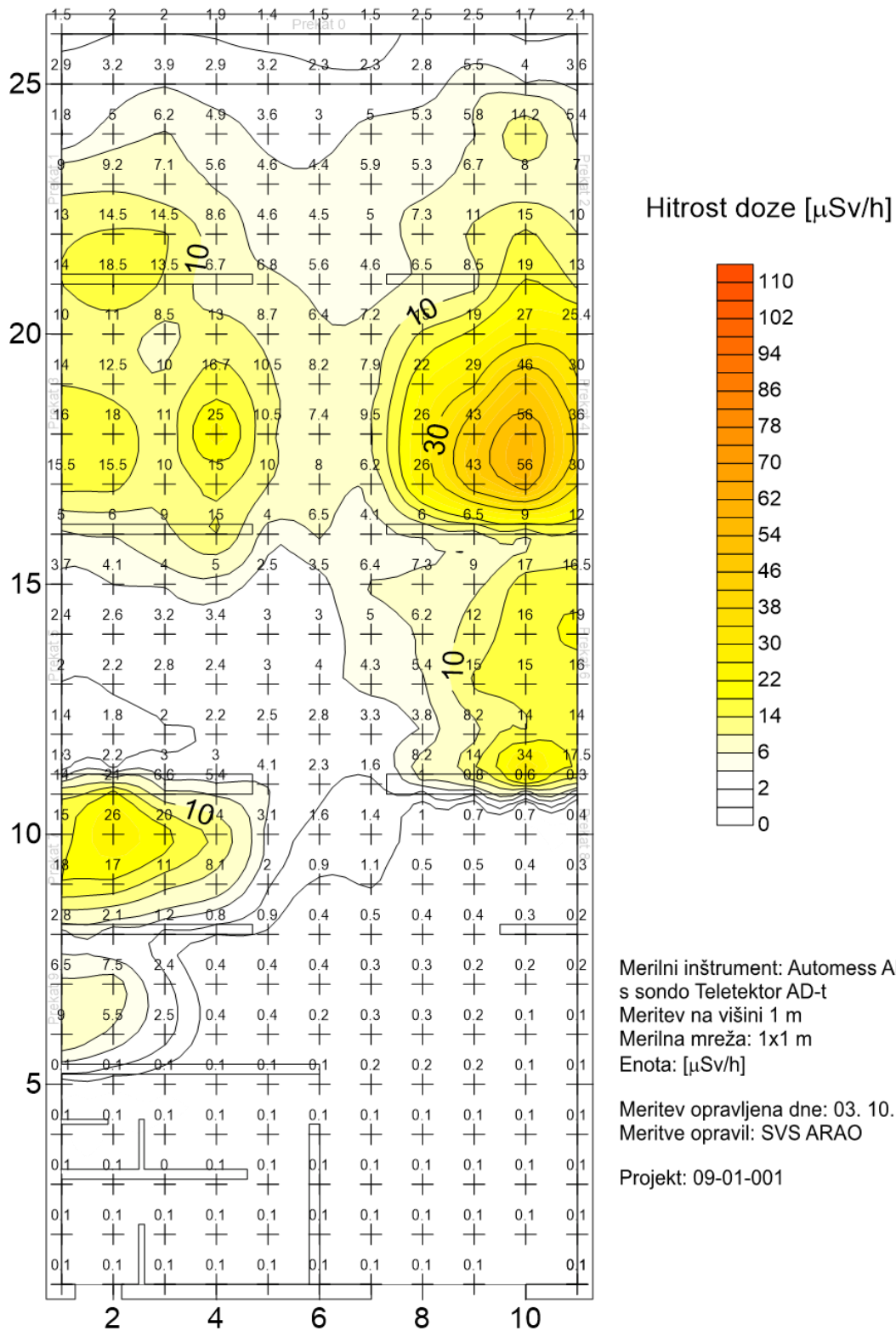


Slika 2: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO v avgustu 2016



Slika 3: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO v novembru 2016

Na sliki 4 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekatami v skladiščnem prostoru so nekoliko nižji 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 $56 \mu\text{Sv/h}$.



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)

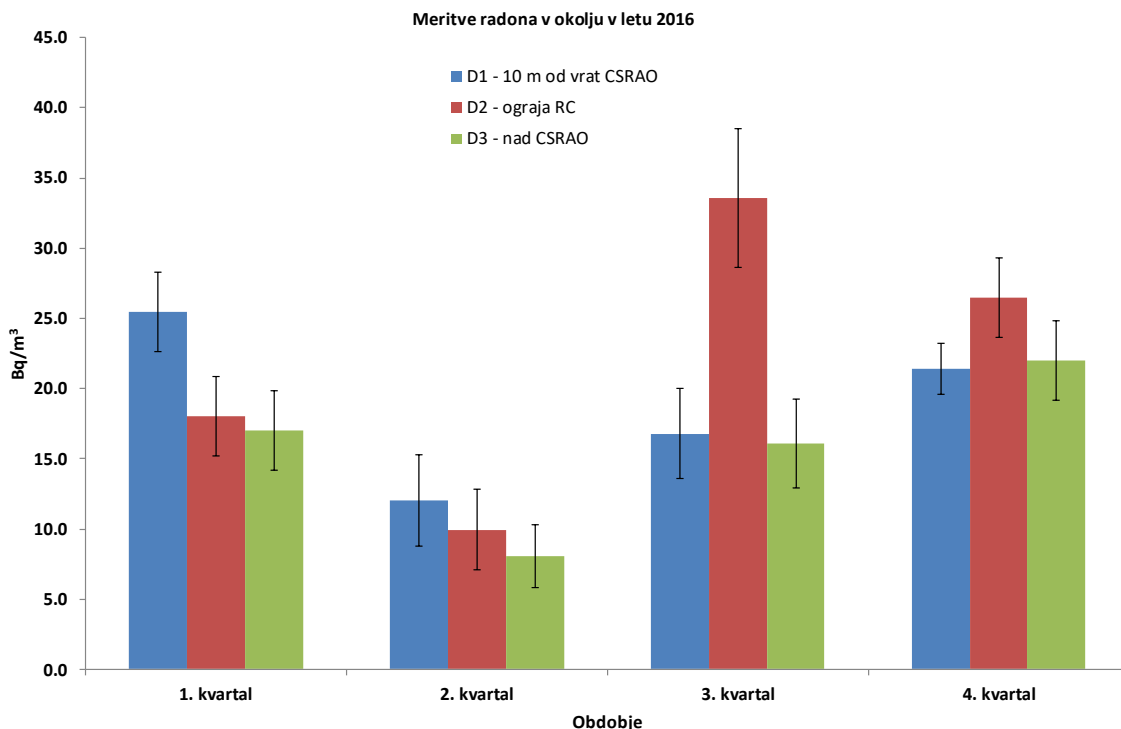
Meritve koncentracije radona v okolju se izvajajo z detektorji sledi (Rn etched-track detektorji), ki so integrirni merilniki. Detektorji sledi so bili nameščeni za obdobje treh mesecev (kvartalno). Meritve je izvajal ZVD na treh lokacijah (slika 1):

- 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 odstopa meritev v 3. kvartalu na ograji RC. Višja vrednost (34 Bq/cm^3) je posledica neustreznega vzorčenja, saj sta se oba detektorja nahajala na tleh in ne na višini 150 cm.

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 $(16 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ in na lokaciji D2 (ograja RC) je bila $(18 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$. 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/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 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.

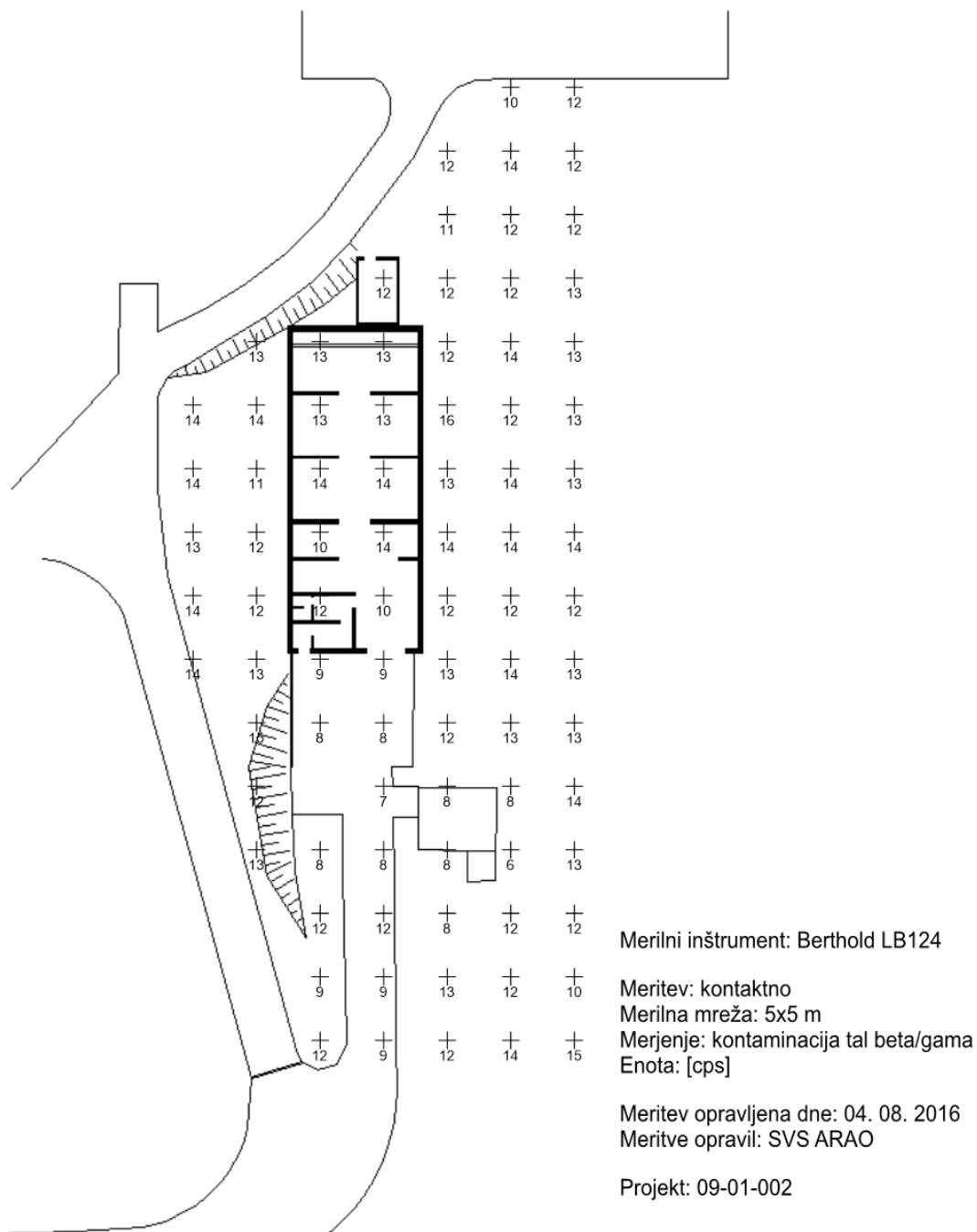
2.5 VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

2.5.1 MERITVE KONTAMINACIJE TAL

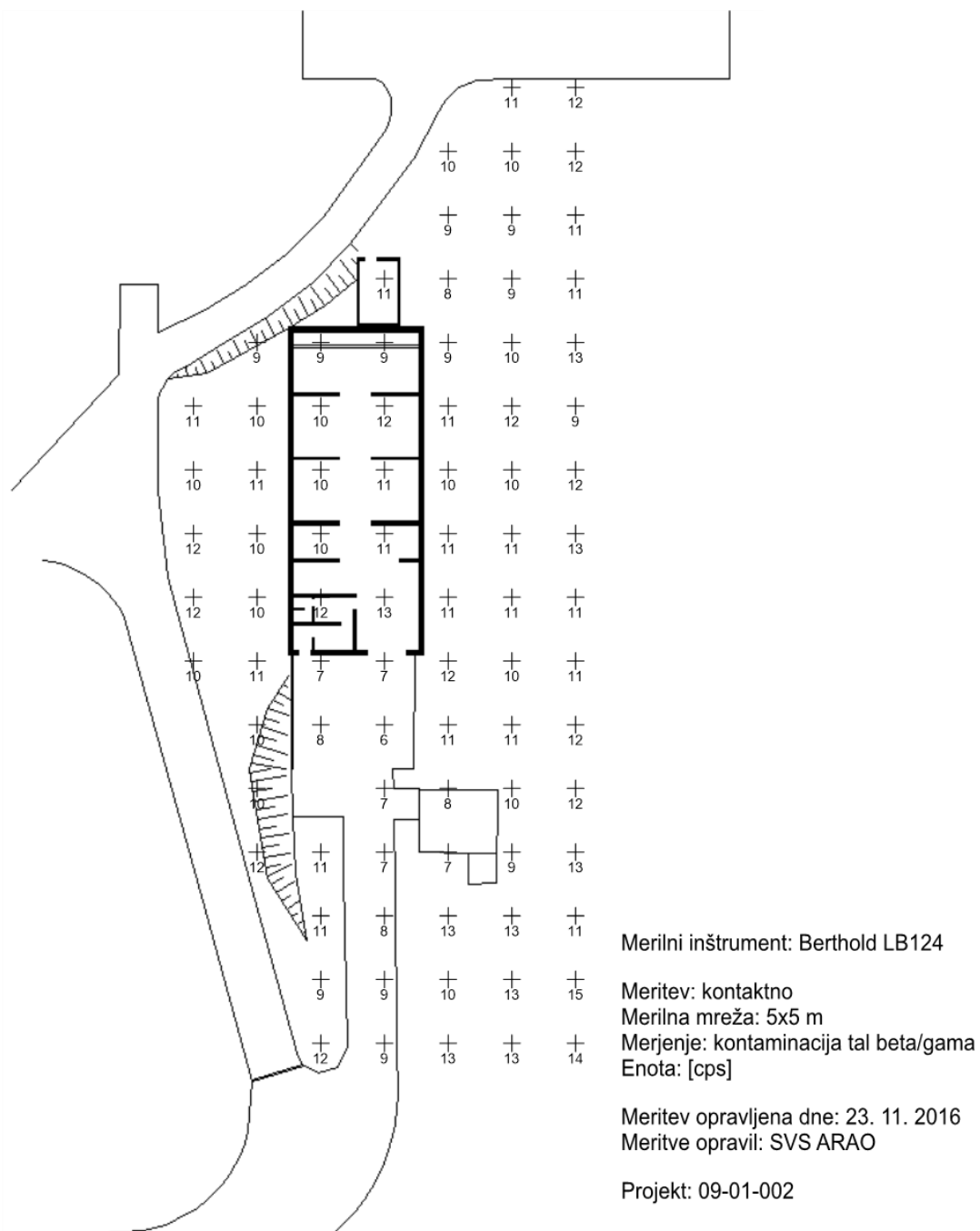
V okviru vzdrževanja pripravljenosti so bile opravljene primerjalne meritve s spektrometrijo gama in-situ med ARAO in IJS (ELME) na lokaciji južno od pomožnega objekta CSRAO. Namen meritev je preverjanje usposobljenosti ekipe in merilne opreme, da se lahko v primeru izrednega dogodka v okolju naredi 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/m^2 . Predlagamo, da ARAO in IJS preverita ustreznost kalibracije obeh spektrometrov za površinsko porazdelitev kontaminiranosti.

ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ (slike 5 in 6). Rezultati meritev (referenca: Meritve radioaktivnosti na območju CSRAO, Poročilo za leto 2016, 09-01-002/17-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 ($6 - 15 \text{ s}^{-1}$).



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.



Slika 6: 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. Namen meritev useda na vazelinski plošči je ocena depozita radioaktivnosti v primeru izrednega dogodka. Iz tabele 9 je razvidno, da so bili na vazelinski plošči izmerjeni naravni radionuklidi in Cs-137, ki je del globalne kontaminacije. Rezultati so v okviru merske negotovosti primerljivi z meritvami iz predhodnih let. Aktivnost kozmogenega radionuklida Be-7 je 410 Bq/m² kar je primerljivo z običajno izmerjenimi aktivnosti okrog 700 Bq/m². Berilij je predvsem odvisen 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 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 (7 ± 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 350 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 2017	~7 Bq/s

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2016 ocenjujemo na približno 0,21 GBq/leto, kar je v okviru merilne negotovosti primerljivo z leti od 2011 do 2015.

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 0,37 Bq/m³ nad ozadjem.

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 6,7 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)	5,33	0,67	0,27	0,07
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³)	11,99	1,33	0,47	0,13

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 3) 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. člena Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Uradni list RS št. 115/03).

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 6,7 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 - $7,8 \times 10^{-9} \text{ Sv}/(\text{Bq}\cdot\text{ura})/\text{m}^3$.

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 zunanjega sevanja iz skladišča na razdalji 10 m od CSRAO nemerljiv. Na referenčni lokaciji je namreč letna doza zaradi zunanjega 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 (μSv)	0,44	0,02	0,93
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza (μSv)	0,44	0,02	0,93



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 gama spektrometrija	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 gama spektrometrija	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 gama spektrometrija (NaJ(Tl))	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 gama spektrometrija (NaJ(Tl))	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 gama spektrometrijo	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	RA16-VN1-51 9. 5. 2016
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	2,4E+00 ± 7,5E-01
K-40	2,5E+02 ± 2,4E+01
Cs-137	1,9E-01 ± 8,4E-02
Pb-210	<1,9E+01
Ra-226	3,8E+00 ± 3,0E+00
Ra-228	9,4E-01 ± 6,1E-01
Th-228	2,8E-01 ± 1,7E-01
U-235	<3,5E+00

Oznaka vzorca	RA16-VN1-B1 7. 11. 2016
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
K-40	3,4E+02 ± 3,2E+01
Cs-137	9,5E-01 ± 1,3E-01
Pb-210	<1,3E+01
Ra-226	4,2E-01 ± 3,3E-01
Ra-228	5,7E-01 ± 4,0E-01
Th-228	<3,4E-01
U-238	2,2E+00 ± 1,5E+00



4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: Mesečne doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2016. 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
11.1. - 10.2. 2016	Januar	0,069	0,048	0,080	0,067	0,080	0,076
10.2. - 7.3.2016	Februar	0,062	0,043	0,074	0,057	0,068	0,073
7.3. - 11.4.2016	Marec	0,091	0,057	0,091	0,070	0,087	0,084
11.4. - 9.5.2016	April	0,078	0,046	0,070	0,052	0,071	0,070
9.5. - 2.6.2016	Maj	0,058	0,039	0,061	0,046	0,056	0,060
2.6. - 11.7.2016	Junij	0,096	0,055	0,102	0,080	0,094	0,097
11.7. - 4.8.2016	Julij	0,062	0,038	0,069	0,051	0,057	0,060
4.8. - 8.9.2016	Avgust	0,101	0,054	0,094	0,065	0,085	0,090
8.9. - 10.10.2016	September	0,083	0,049	0,087	0,064	0,078	0,079
10.10. - 7.11.2016	Oktober	0,072	0,049	0,082	0,060	0,071	0,080
7.11. - 6.12.2016	November	0,073	0,050	0,080	0,060	0,074	0,075
6.12.2016 - 9.1.2017	December	0,088	0,058	0,094	0,071	0,084	0,090
Letna doza (mSv):		0,93	0,59	0,98	0,74	0,91	0,93

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.

2016		Koncentracija [Bq/m ³]						
Lokacija	4.1. - 31.3.2016	Uteženo povprečje	31.3. - 29.6.2016	Uteženo povprečje	29.6. - 30.9.2016	Uteženo povprečje	30.9. - 3.1.2017	Uteženo povprečje
D1 - 10 m od vrat CSRAO	18 ± 4	25,5 ± 2,8	11,1 ± 4,6	12,1 ± 3,3	16,6 ± 4,5	16,8 ± 3,2	27 ± 4	21,4 ± 1,8
	33* ± 4		13,0 ± 4,6		17,0 ± 4,5		20 ± 2	
D2 - Ograja RC	18 ± 4	18,0 ± 2,8	12,5 ± 4,6	9,9 ± 2,9	34,1* ± 6,3	33,6* ± 5,0	25 ± 4	26,5 ± 2,8
	18 ± 4		8,3 ± 3,7		32,7* ± 8,1		28 ± 4	
D3 - Nad CSRAO	19 ± 4	17,0 ± 2,8	7,9 ± 2,8	8,0 ± 2,2	17,9 ± 4,5	16,1 ± 3,2	23 ± 4	22,0 ± 2,8
	15 ± 4		8,3 ± 3,7		14,3 ± 4,5		21 ± 4	

* Detektorji so bili postavljeni na tleh in ne na predpisani višini 1,5 m. Zaradi tega razloga rezultati izrazito odstopajo od normalne koncentracije in jih ne smemo upoštevati pri primerjavah.



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:	RA16-VRP1-91 Severna vrtina 8. 9. 2016	RA16-VRP2-91 Južna vrtina 8. 9. 2016
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	3,6E+00 ± 8,3E-01	4,3E+00 ± 1,0E+00
K-40	2,1E+01 ± 3,3E+00	4,1E+01 ± 4,7E+00
Cs-137	–	–
Pb-210	<1,3E+01	6,2E+00 ± 2,3E+00
Ra-226	6,9E-01 ± 4,2E-01	1,4E+00 ± 5,0E-01
Ra-228	1,5E+00 ± 4,7E-01	7,8E-01 ± 4,0E-01
Th-228	3,0E-01 ± 1,9E-01	5,8E-01 ± 2,5E-01
U-238	4,0E+00 ± 1,8E+00	9,5E+00 ± 5,6E+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) 21. 9. 2016	3×3" NaI(Tl) – ARAO 21. 9. 2015
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	11 ± 5	–
K-40	310 ± 40	300 ± 60
Cs-137	19 ± 4	18 ± 4
Ra-226 (Bi-241)	32 ± 5	34 ± 10
Ra-228	31 ± 4	–
Th-228	32 ± 4	33 ± 6*
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m²)	
Be-7	560 ± 230	–
Cs-137	1020 ± 160	520 ± 104

* Th-228 izračunan iz aktivnosti izmerjenega Tl-208 (17 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:	RA16-PV1-M1 11. 1. 2016 – 16. 1. 2017
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	4,1E+02 ± 1,6E+01
K-40	2,4E+00 ± 3,8E-01
Cs-137	2,0E-01 ± 3,0E-02
Pb-210	4,0E+01 ± 3,3E+00
Ra-226	2,8E-01 ± 2,2E-01
Ra-228	2,9E-01 ± 1,3E-01
Th-228	2,4E-01 ± 8,1E-02
U-238	<1,9E+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 Rn".
- Aktivnost radonovih potomcev se podaja s koncentracijo radona v ravnovesju s potomci "Bq/m³ EEC" - ekvivalentne ravnovesne koncentracije radona (Equilibrium Equivalent radon Concentration).
- Ravnovesni faktor F je ravnovesje med radonom in radonovimi potomci in se izraža kot razmerje med koncentracijo EEC in dejansko koncentracijo radona v Bq/m³: $F = EEC / \text{Konc.}_{Rn-222}$



4.4 ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VLG SPEKTROMETRIJO

V tabeli 10 so podane orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG na IJS (*Odsek F-2*).

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 REZULTATI MEDNARODNIH PRIMERJALNIH MERITEV

Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev potrjujejo usposobljenost laboratorijev za meritve izpustov (emisij) in meritve vzorcev v okolju (imisij).

4.5.1 International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Združeno kraljestvo

IARMA ERAD-PT-2016 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water

V letu 2016 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 z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Pri vzorcu sena se teh primerjalnih meritev ni udeležil, saj je sodeloval predhodno pri karakterizaciji tega materiala za primerjalne meritve. Individualna poročila smo prejeli septembra 2016.

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.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2016					
Sample IARMA-044, Water Sample					
analize IJS opravljene <i>maja in avgusta 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	3,03 ± 0,20	3,04 ± 0,09	0,3	0,0	A
Co-60	5,13 ± 0,15	5,09 ± 0,15	-0,7	0,1	A
Ba-133	1,97 ± 0,06	1,87 ± 0,06	-5,3	0,5	A
Cs-134	1,81 ± 0,05	1,77 ± 0,05	-2,5	0,2	A
Cs-137	2,57 ± 0,08	2,56 ± 0,08	-0,5	0,1	A
Pb-210	7,90 ± 0,80	6,93 ± 0,55	-12,3	1,2	A
Ra-226	3,35 ± 0,25	3,97 ± 0,49	18,5	-1,9	A
Am-241	1,47 ± 0,05	1,52 ± 0,06	3,4	-0,3	A



IARMA ERAD-PT-2016 Sample IARMA-045, Water Sample analize IJS opravljene <i>maja in avgusta 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	7,52 ± 0,23	7,69 ± 0,23	2,3	-0,2	A
Co-60	12,73 ± 0,38	12,53 ± 0,38	-1,6	0,2	A
Ba-133	4,90 ± 0,15	4,64 ± 0,14	-5,4	0,5	A
Cs-134	4,51 ± 0,14	4,43 ± 0,13	-1,7	0,2	A
Cs-137	6,39 ± 0,19	6,32 ± 0,19	-1,1	0,1	A
Pb-210	19,20 ± 1,50	19,16 ± 0,87	-0,2	0,0	A
Ra-226	8,32 ± 0,70	9,50 ± 0,68	14,2	-1,4	A
Am-241	3,66 ± 0,11	3,63 ± 0,11	-0,8	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2016 Sample IARMA-046, Water Sample analize IJS opravljene <i>maja in avgusta 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	15,10 ± 0,45	15,31 ± 0,46	1,4	-0,1	A
Co-60	25,54 ± 0,77	24,96 ± 0,75	-2,3	0,2	A
Ba-133	9,84 ± 0,30	9,28 ± 0,28	-5,6	0,6	A
Cs-134	9,04 ± 0,27	8,77 ± 0,26	-3,0	0,3	A
Cs-137	12,82 ± 0,38	12,55 ± 0,38	-2,1	0,2	A
Pb-210	37,00 ± 4,00	38,48 ± 1,15	4,0	-0,4	A
Ra-226	16,70 ± 1,40	17,56 ± 0,56	5,2	-0,5	A
Am-241	7,34 ± 0,22	7,12 ± 0,21	-30	0,3	A



4.5.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of natural and artificial radionuclides in water, spruce needles and clover, IAEA-TEL-2016-04

V maju 2016 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 2 vzorca umetno kontaminirane vode, vzorec deteljice in vzorec smrekovih iglic 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 2016 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 35 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2016-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2016*].

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 35 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec smrekovih iglic št. 4 je realen vzorec iz okolice Seibersdorfa, vzorčevan kmalu po nesreči v Černobilu. Rezultati meritev Pb-210 v tem vzorcu so primerjani s povprečnimi vrednostmi sodelujočih laboratorijev (Robust Mean in Robust Standard Deviation). Vzorec deteljice 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.

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-2016-04 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	19,9 ± 0,6	18,8 ± 0,6	-5,53	-1,30	-1,10	A
Cs-137	39,6 ± 1	37,8 ± 1,2	-4,55	-1,15	-1,20	A
Na-22	53,2 ± 1,5	49,7 ± 1,5	-6,58	-1,65	-1,00	A

IAEA-TEL-2016-04 Sample 02, Spiked Water analize IJS opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	26,7 ± 0,7	25,2 ± 0,8	-5,62	-1,41	-0,79	A



IAEA-TEL-2016-04 Sample 04, Spruce Needles analize IJS opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-137	209 ± 11	200 ± 6	-4,31	-0,72	-0,53	A
K-40	216 ± 13	191 ± 11	-11,57	-1,47	-1,09	A
Pb-210	19,7 ± 3,63	17,2 ± 2,8	-12,69	-0,55	-0,69	A

IAEA-TEL-2016-04 Sample 03, Spiked Clover, QC sample analize IJS opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>					
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Final score
	(Bq/kg)				
Na-22	180 ± 6	179 ± 6	0,56	0,12	A
Mn-54	171 ± 5	175 ± 6	-2,34	-0,51	A
Zn-65	496 ± 20	492 ± 15	0,81	0,16	A
Cs-134	124 ± 5	122 ± 6	1,61	0,26	A
Cs-137	177 ± 10	181 ± 6	-2,26	-0,34	A
Am-241	205 ± 8	196 ± 7	4,39	0,85	A



4.6 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 2016, ARAO 09-01-002/17-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-UPB2) (Ur.l. RS št. 102/2004), ZVISJV-C (60/11), ZVISJV-D (74/2015)
- 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 radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti
<i>LMR-OP-05/07</i>	Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti

Delovna navodila

<i>LMR-DN-05/05</i>	Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod
<i>LMR-DN-06/10</i>	Priprava sušine vzorcev vode
<i>LMR-DN-08/07</i>	Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-09/08</i>	Označevanje vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
<i>LMR-DN-10/13</i>	Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju
<i>LMR-DN-11/10</i>	Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG
<i>LMR-DN-27/05</i>	Rokovanje z vzorci
<i>ELME-DN-14/09</i>	Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama

Kontrolni postopki

<i>LMR-KP-06/02</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
<i>LMR-RP-04/01</i>	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-01/02 Opis del in nalog osebja v *Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo*

Delovna navodila

TLD-DN-01/08 Priprava, izdaja in sprejem termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)

TLD-DN-02/08 Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD)

TLD-DN-03/07 Izpisovanje, dokumentiranje in arhiviranje poročil o TL dozah

Kontrolni postopki

TLD-KP-03/03 Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov

Računski postopki

TLD-RP-01/03 Kratak 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)