

IJS delovno poročilo
IJS-DP-11801
Ljubljana, februar 2015

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

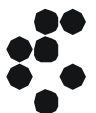
POROČILO ZA LETO 2014



Izvajalca meritev:

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija
Zavod za varstvo pri delu (ZVD), d.d.

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





Naročnik: Agencija za radioaktivne odpadke, Celovška cesta 182, Ljubljana

Izvajalec: Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS)

Naslov poročila: Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju – POROČILO ZA LETO 2014

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

Avtor poročila: mag. Matjaž Stepišnik, pooblaščen izvedenec iz varstva pred sevanji

Štev.del.por. IJS: IJS-DP-11801

Štev. projekta ARAO: 04-04-040-002

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		
<i>Pregledala</i>	dr. Marijan Nečemer mag. Denis Glavič-Cindro		
<i>Odobril</i>	prof. dr. Jadran Lenarčič		



NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2014

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. Dozna obremenitev na posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (okoliški kmet) je bila v letu 2014 konzervativno ocenjena na 0,02 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-11801
February 2015

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2014

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. Effective dose is conservatively estimated to 0.02 μSv per year for the reference group (local farmer) in the year 2014.



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	4
2.4.1	ZUNANJE SEVANJE	4
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	11
3	Ocena vpliva na okolje	15
3.1	Atmosferski izpusti	15
3.2	Tekočinski izpusti	16
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.....	21
4.2.3	Zrak	22
4.2.4	Voda (podtalnica)	22
4.2.5	Meritve kontaminacije tal.....	23
4.2.6	Talni used	23
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), Thurso, 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 2014. 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 ISO/IEC 17025*. LMR je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji (št. akreditacijske listine LP-022).

Meritve doze zunanega sevanja TLD so opravili sodelavci *Laboratorija za termoluminiscenčno dozimetrijo*, ki deluje v okviru *Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na IJS*. Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje osebne in okoljske dozimetrije. Z akreditacijsko listino št. LP-022 z dne 4. 7. 2005 laboratoriju Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda *SIST EN ISO/IEC 17025* pri tej dejavnosti.

Meritve koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi so opravili sodelavci *Zavoda za varstvo pri delu (ZVD)* 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 *SIST EN ISO/IEC 17025* pri švedski akreditacijski službi SWEDAC.

V letu 2014 je v CSRAO potekal običajen sprejem RAO malih povzročiteljev. Izvajale so se nadzorne meritve radioaktivnosti, periodični preventivni pregledi, vzdrževanje in preskusi vgrajenih sistemov in opreme, vodenje ogledov (inšpekcijske službe, zunanjih izvajalci, obiskovalci). Potekali so tudi vnosi in iznosi ter interni prevozi paketov RAO v OVC (IJS), kjer je potekala obdelava (razstavljanje javljalnikov požara, utrjevanje tekočih radioaktivnih odpadkov). V obdobju od marca do junija je bilo v OVC razstavljenih 3788 kosov javljalnikov požara. S tem se je prostornina RAO zmanjšala za faktor 25. Meseca januarja 2014 sta bila zamenjana filtra na vstopu zraka v objekt in filter pred sušilnikom. Meseca novembra je bil zamenjan HEPA filter na izhodu zraka iz prezračevalnega sistema. V notranjosti objekta se je namestil videonadzor, zamenjani pa so bili tudi elementi protivlomnega sistema. Zaradi poseba zemljine na strehi objekta se je oktobra in novembra na objekt nasulo in utrdilo dodatno zemljo.



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 skladišču. 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. Prispevek radona v CSRAO je v večji meri posledica skladiščenih odpadkov. 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 6 Bq/s. Zmanjšanje izpustov v letih od 2009 do 2014 je posledica prepakiranja in dobre zatesnitve radijevih odpadkov v novo embalažo v letu 2008. Skupni povprečni letni izpust radona ocenjujemo na okrog 0,2 GBq.

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

Imisije

Meritve imisij obsegajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri, meritve podtalnice in meritve radona v okolici objekta CSRAO. Meritve zunanjega sevanja kažejo, da njegova raven 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

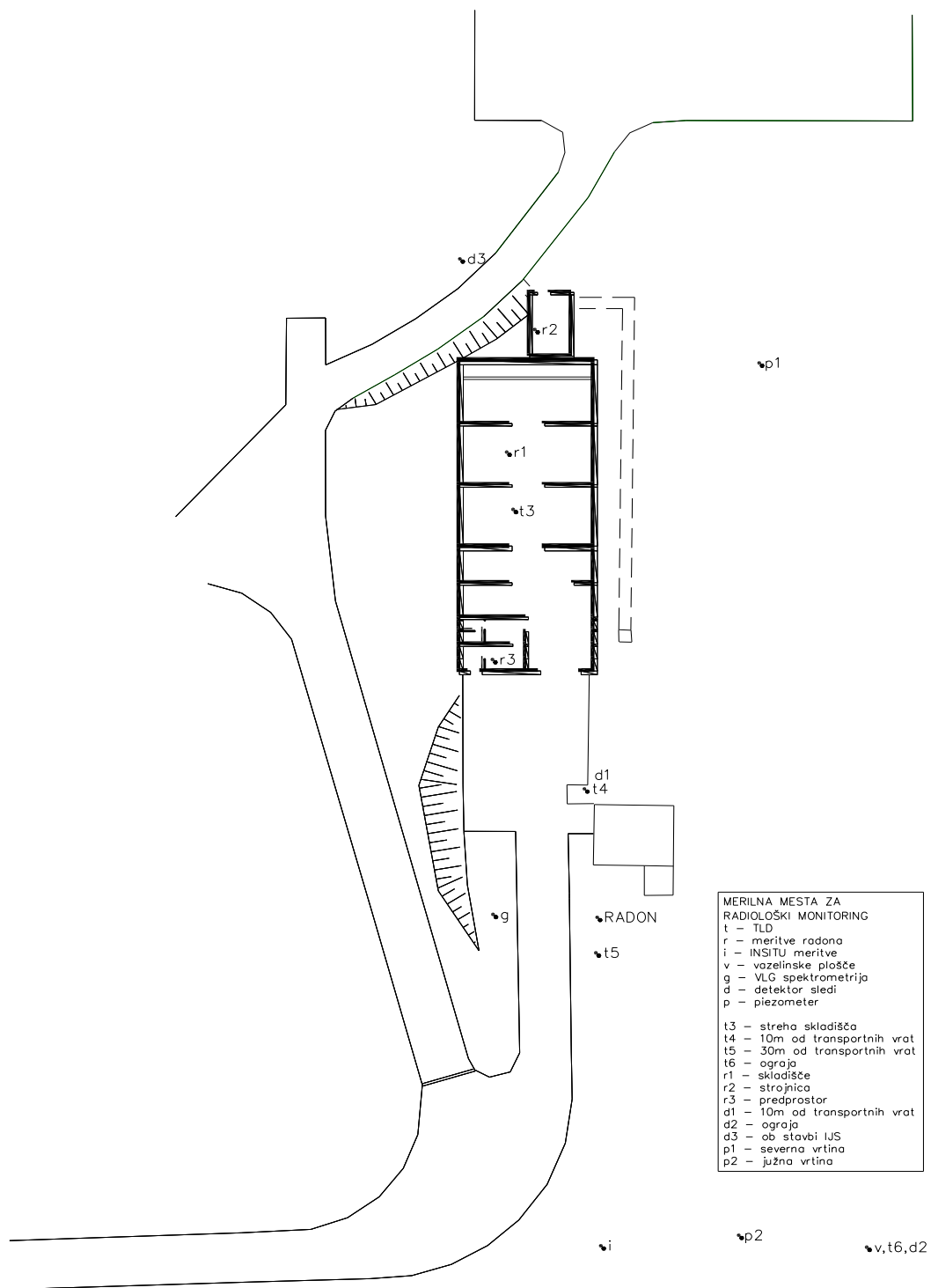
Pri izpostavljenosti referenčnih skupin prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri skupine: varnostnika reaktorskega centra, ki se giblje okoli skladišča, 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 manj kot 0,8 μ Sv.



2.2 VZORČEVALNA MESTA

Na sliki 1 so podane lokacije vzorčenja iz programa nadzora radioaktivnosti za leto 2014.



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. Odvzet je bil samo en vzorec, ker se preko leta ni zbralo dovolj odpadne vode za še en vzorec. Tekočinski vzorec (~50 L) je bil analiziran po izparevanju (koncentriranju) in homogenizaciji.

Iz tabele 4 je razvidno, da je v cisterni, enako kot v preteklem letu, v sledovih pojavlja Am-241 ($5,3E-01$ Bq/m³). Podobno vrednost smo lahko izmerili leta 2011 in 2013. Izmerjena koncentracija Am-241 je na meji detekcije merilne metode in je daleč pod omejitvami za pitno vodo (Am-241: 670 Bq/m³).

Običajno je v podzemnem rezervoarju izmerjen Cs-137, ki je prisoten povsod v okolju zaradi globalne kontaminacije. V tem letu je bila njegova izmerjena aktivnost $4,9E-01$ Bq/m³. V lanskem letu ni bil detektiran. V cisterni nismo zaznali prisotnosti Co-60, ki se je občasno tudi pojavljal v teh vzorcih.

Koncentracije naravnih radionuklidov v podzemnem rezervoarju so običajne za površinske ali podzemne vode v naravnem okolju.

2.3.2 ZRAK (radon v skladišču)

V preteklih letih se je koncentracija radona v skladiščnem prostoru izrazito spreminjala. Prvotno je bila običajna koncentracija radona, kadar skladiščni prostor daljši čas ni bil prezračevan, do 8000 Bq/m³. Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputih za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okrog 20.000 Bq/m³. Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij. Leta 2008 je potekal projekt prepakiranja RAO ("Izboljšanje ravnanja z institucionalnimi RAO v Sloveniji"). V okviru projekta so bili prepakirani tudi radijevi odpadki. Radij, ki je bil vzrok za visoke koncentracije radona, je bil hermetično zavarjen v novo embalažo. Najpomembnejše je bilo prepakiranje soda, ki je vseboval radijevo barvo in radijeva mačja očesa. Zaradi tega je koncentracija radona v skladiščnem prostoru po letu 2008 padla na okrog 5000–6000 Bq/m³.

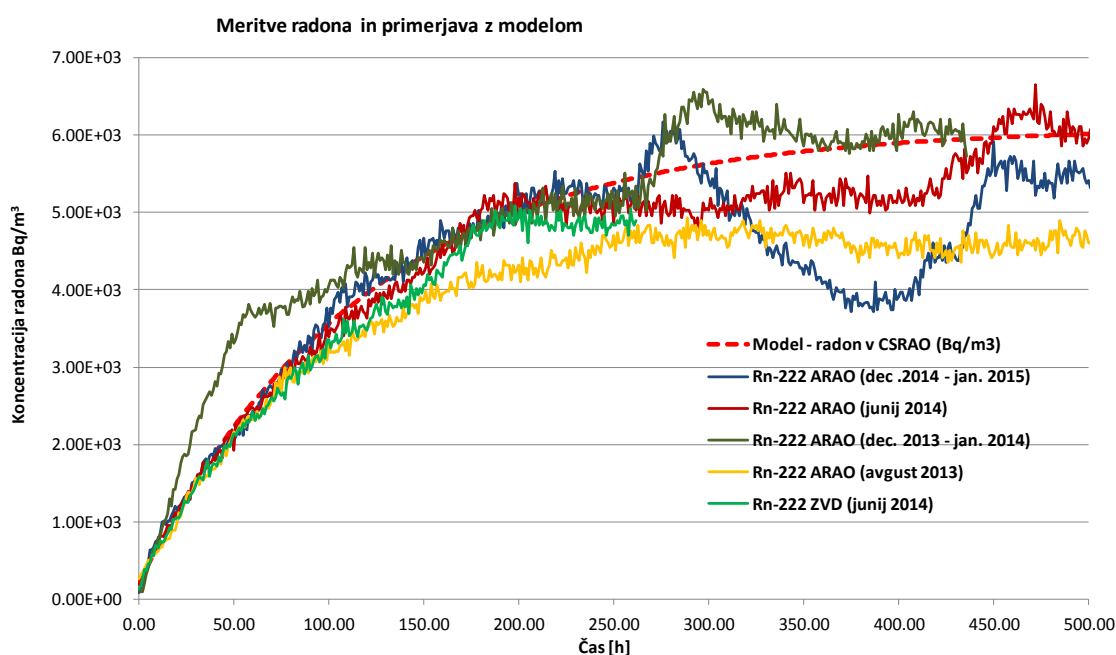
Vsako leto se izvajajo kontinuirne meritve radona v skladiščnem prostoru (enkrat v poletnem in enkrat zimskem obdobju). Na ta način se nadzira stanje embalaže, v kateri je radij. Meritve radona je opravila služba za varstvo pred sevanji ARAO s kontinuirnim merilnikom radona AlphaGuard in sicer v poletnem času od 6. 6. 2014 do 30. 6. 2014 ter v zimskem obdobju od 16. 12. 2014 do 9. 1. 2015. Po ustavitvi prezračevalnega sistema skladiščni prostor ni bil prezračevan 574 ur (24 dni). Merilnik je bil nameščen med prekatoma 3 in 4. V poletnem obdobju med 6. 6. 2014 in 17. 6. 2014 je meritve naraščanja koncentracij radona opravil tudi pooblaščen izvajalec meritev ZVD. Povprečno odstopanje med meritvami ARAO in ZVD je bilo 5%.

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.



V letu 2014 je bila najvišja izmerjena koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okrog 6700 Bq/m^3 v poletnem obdobju (graf 1). Najvišja koncentracija radona v zimskih mesecih je bila nekoliko nižja (okrog 6200 Bq/m^3). Že vsa leta opažamo trend različnih koncentracij v letnih in zimskih mesecih. Trend sezonskih sprememb lahko vidimo tudi v običajnih hišah. Za CSRAO je bil pred letom 2008 značilen izrazit trend nižjih koncentracij radona v zimskih mesecih kot v poletnih mesecih.

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 opravljene v poletnih mesecih.

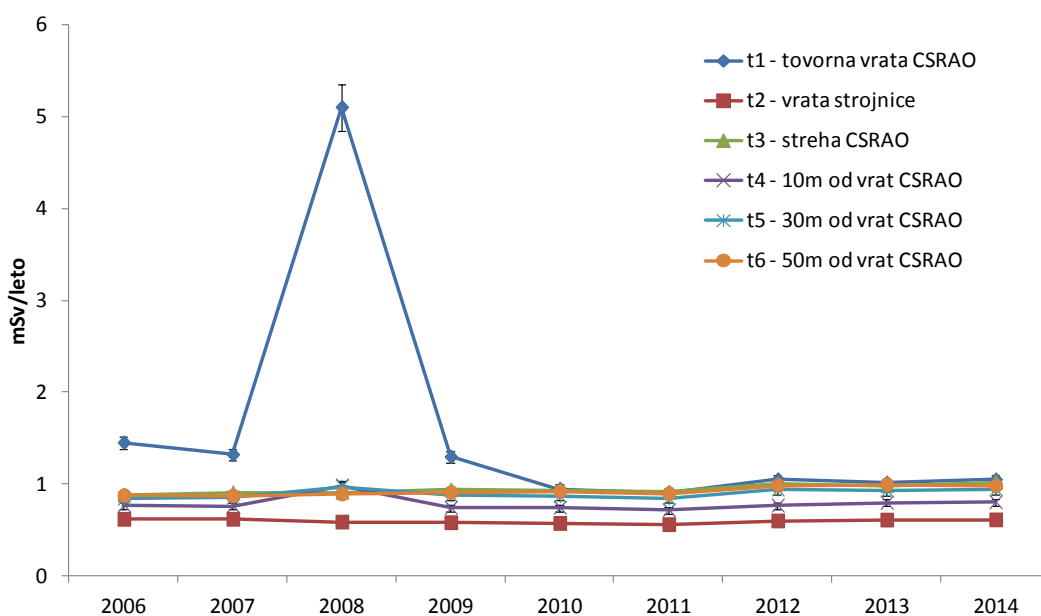
2.4 MERITVE V OKOLJU

2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

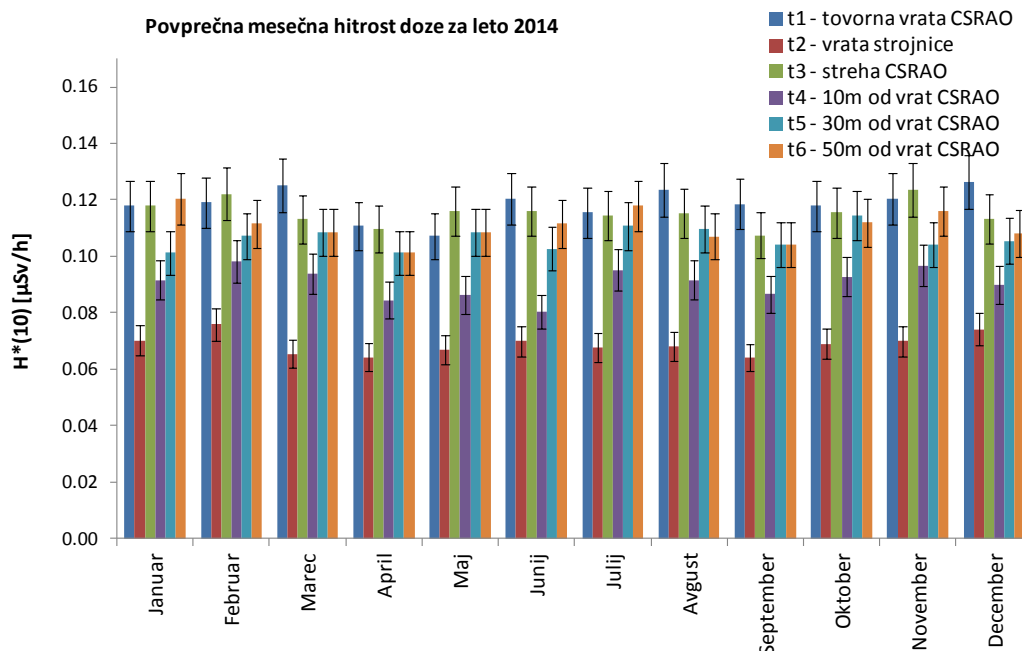
V okviru nadzora se izvajajo meritve zunanjega sevanja s TL dozimetri na petih lokacijah in sicer na tovornih vratih CSRAO, na vratih strojnice, na strehi CSRAO, 10 m od tovornih vrat CSRAO in 30 m od tovornih vrat CSRAO. TL dozimetri se menjavajo enkrat mesečno. Dodatno se izvajajo meritve tudi na referenčni lokaciji na ograji Reaktorskega centra 50 m od CSRAO. Rezultati meritev so v tabeli 5 ter na grafih 2 in 3. Pri analizi in primerjavi podatkov meritev je potrebno upoštevati, da je merilni cikel za posamezni mesec lahko različen od dejanskega števila dni. 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 znašala 1,05 mSv (1,01 mSv v letu 2013 in 1,05 mSv v letu 2012). 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 ($0,5 \mu\text{Sv/h}$). To je posledica prepakiranja RAO v ustreznejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO. Največja povprečna mesečna hitrost doze je bila izmerjena na vratih skladišča v mesecu marcu in decembru $0,13 \mu\text{Sv/h}$ (graf 3). Na strehi CSRAO in ob strojnici so bile letne doze na nivoju 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. Iz meritev lahko zaključimo, da je bil vpliv skladišča iz vidika zunanjega sevanja nemerljiv, saj je bila izmerjena letna doza 10 m od vrat $0,80 \text{ mSv}$ in je bila nižja kot na referenčni lokaciji na ograji RC ($0,98 \text{ mSv}$). Podobno je bilo tudi 30 m od skladišča (letna doza $0,94 \text{ mSv}$), kjer je zunanje sevanje nižje od referenčne lokacije.

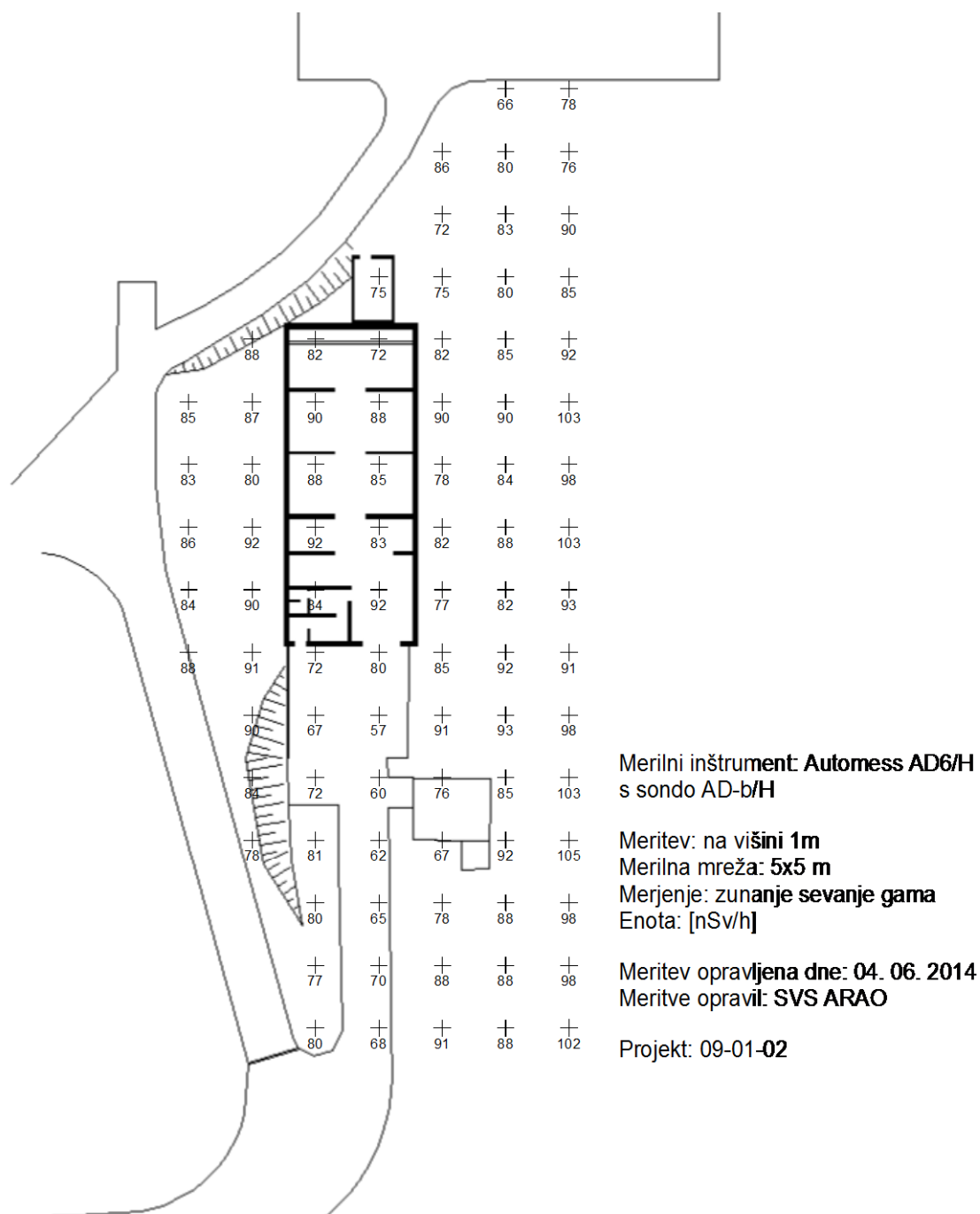


Graf 2: Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča

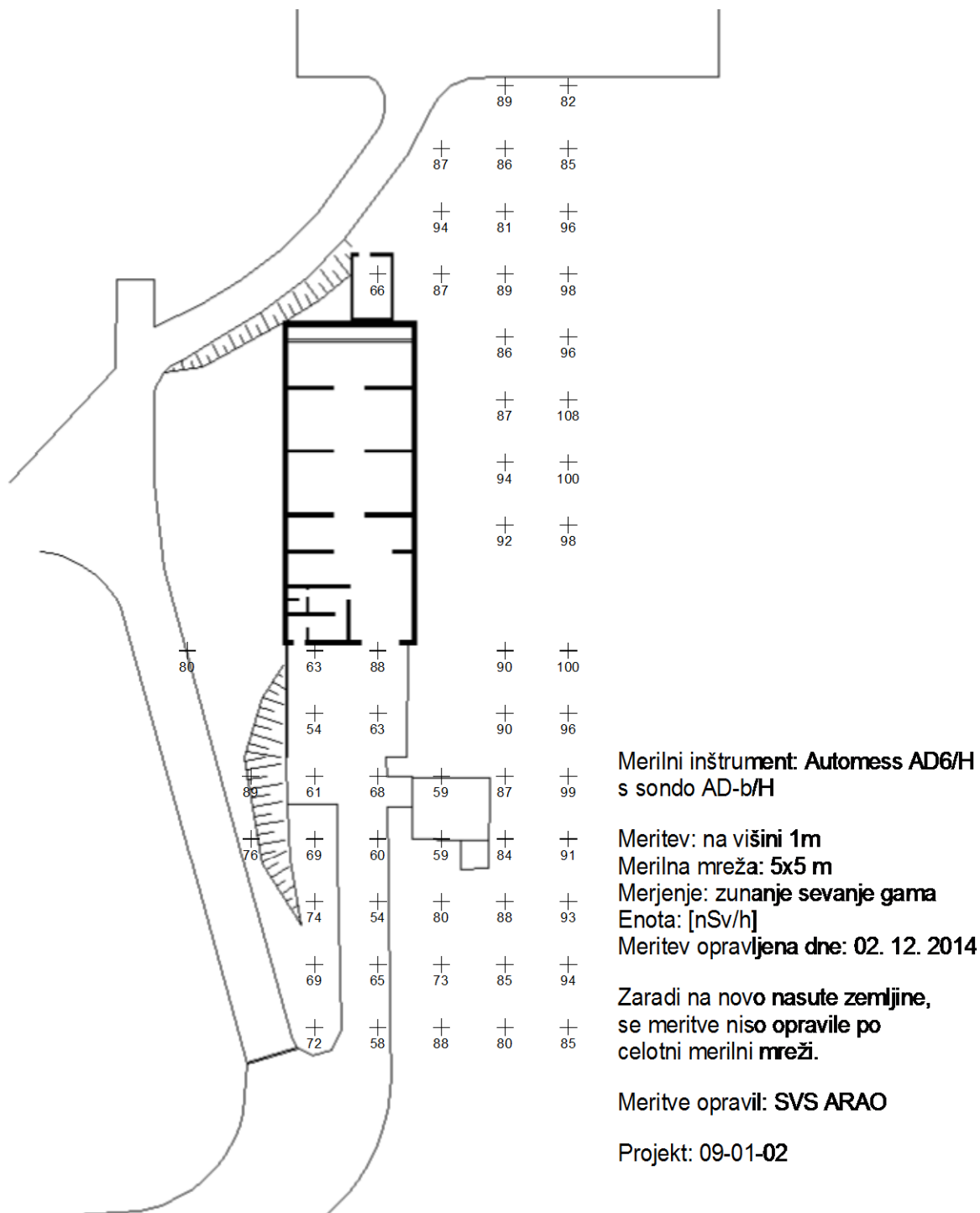


Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča leta 2014

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 in 3). Meritve so opravili delavci ARAO v sklopu nadzora sevanja in kontaminacije. Izmerjene hitrosti doze so bile od 0,057 µSv/h (asfaltna površina pred CSRAO) pa do 0,108 µSv/h (na travniku ob skladišču). Vrednosti so primerljive z meritvami TLD.

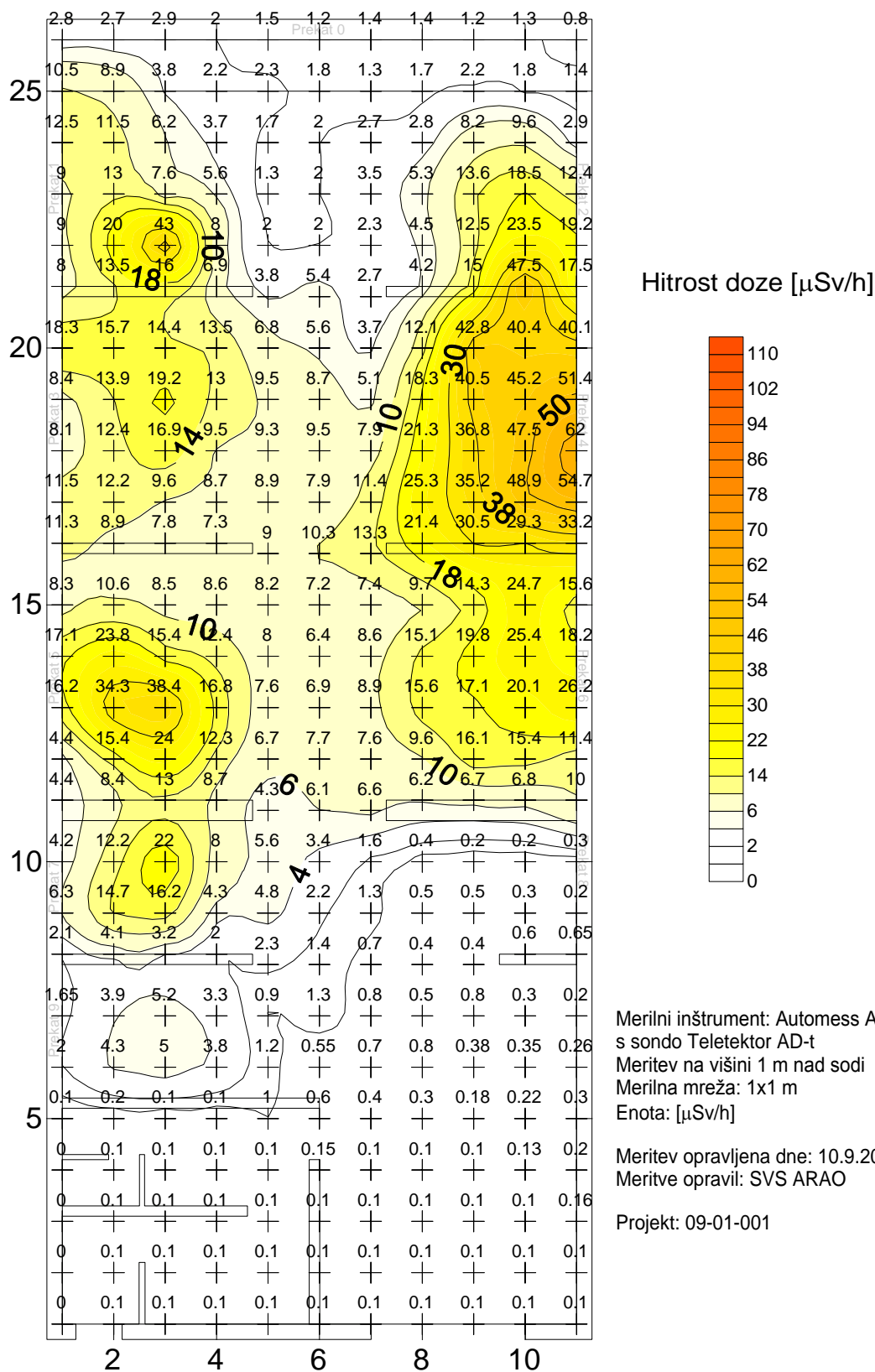


Slika 2: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici skladišča dne 4. 6. 2014



Slika 3: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici skladišča dne 2. 12. 2014

Na sliki 4 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjšega sevanja so na nivoju leta 2013 in so dosti nižji od nivojev pred letom 2009. To je posledica prepakiranja RAO in nove razmestitve sodov. Tako se bolj aktivni sodi nahajajo globlje v prekatih. Največja izmerjena hitrost doze v prekatih je bila nižja od 100 μ 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):

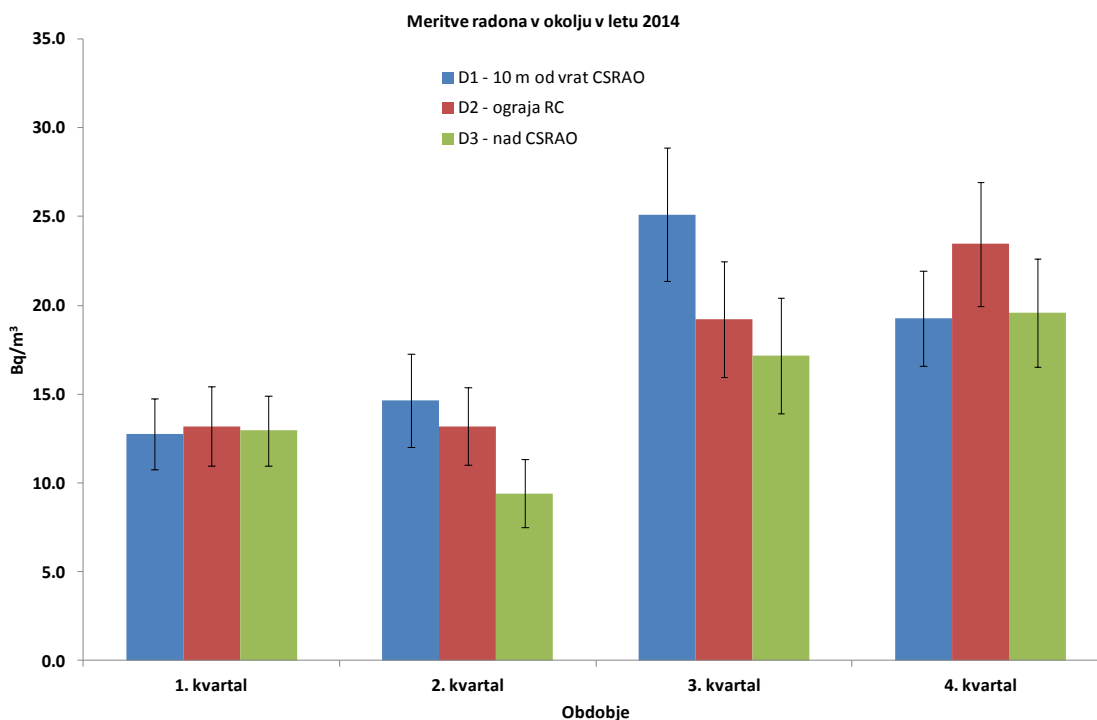
- ob pomožnem objektu 10 m od CSRAO (lokacija - D1);
- na ograji RC - južno (lokacija – D2);
- nad CSRAO - severno (lokacija – D3).

Na vsakem merilnem mestu je sta bila istočasno izpostavljena dva detektorja na višini 150 cm nad tlemi. Rezultati meritev so podani na grafu 4 in v tabeli 6. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji D1 (10 m od skladišča) je bila $(18 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$. Na lokaciji D3 (nad CSRAO ob stavbi IJS) je bila povprečna koncentracija $(15 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$ in na lokaciji D2 (ograja RC) je bila $(17 \pm 1) \text{ Bq/m}^3$. Vse povprečne vrednosti so primerljive z rezultati meritev iz preteklih let ($15 \text{ Bq/m}^3 - 35 \text{ Bq/m}^3$).

Na splošno so koncentracije radona v neposredni okolici skladišča takšne, kot jih običajno izmerimo drugod v Sloveniji – okrog 20 Bq/m^3 (v Ljubljani 17 Bq/m^3 leta 2013, referenca: Letno poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti v RS).

Ob tem je potrebno 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.



Graf 4: Povprečna koncentracija radona v okolici skladišča



2.4.3 VODA (podtalnica)

Od leta 2006 se izvaja program vzorčenja podtalnice. Vzorci vode 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 vrtine p2 so bili prisotni samo naravni radionuklidi. Izmerjeni so bili Ra-226 ($3,4 \text{ Bq/m}^3$), Pb-210 ($<7,5 \text{ Bq/m}^3$), Ra-228 ($1,4 \text{ Bq/m}^3$), Th-228 ($1,5 \text{ Bq/m}^3$) in K-40 (40 Bq/m^3).

Izmerjene koncentracije naravnih radionuklidov so v okviru merske negotovosti enake, kot smo jih izmerili na referenčni lokaciji p1 in so običajne za naravno okolje.

Umetni radionuklid Cs-137 je bil zaznan v severni vrtini p1 ($<0,22 \text{ Bq/m}^3$) in tudi na južni vrtini p2 ($<0,23 \text{ Bq/m}^3$). Prisotnost cezija je posledica globalne kontaminacije.

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 skladišča. Namen meritev je preverjanje usposobljenosti ekipe in merilne opreme, da lahko v primeru izrednega dogodka v okolju naredi hitro oceno stopnje kontaminacije tal.

Rezultati meritev so podani v tabeli 8. Predpostavljena je enakomerna porazdelitev naravnih radionuklidov v zemlji in 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 ločeno s predpostavko površinske kontaminacije. Primerjava rezultatov meritev kaže dobro ujemanje med meritvami IJS in ARAO. Izmerjene vsebnosti naravnih radionuklidov in Cs-137 so običajne za naravno okolje.

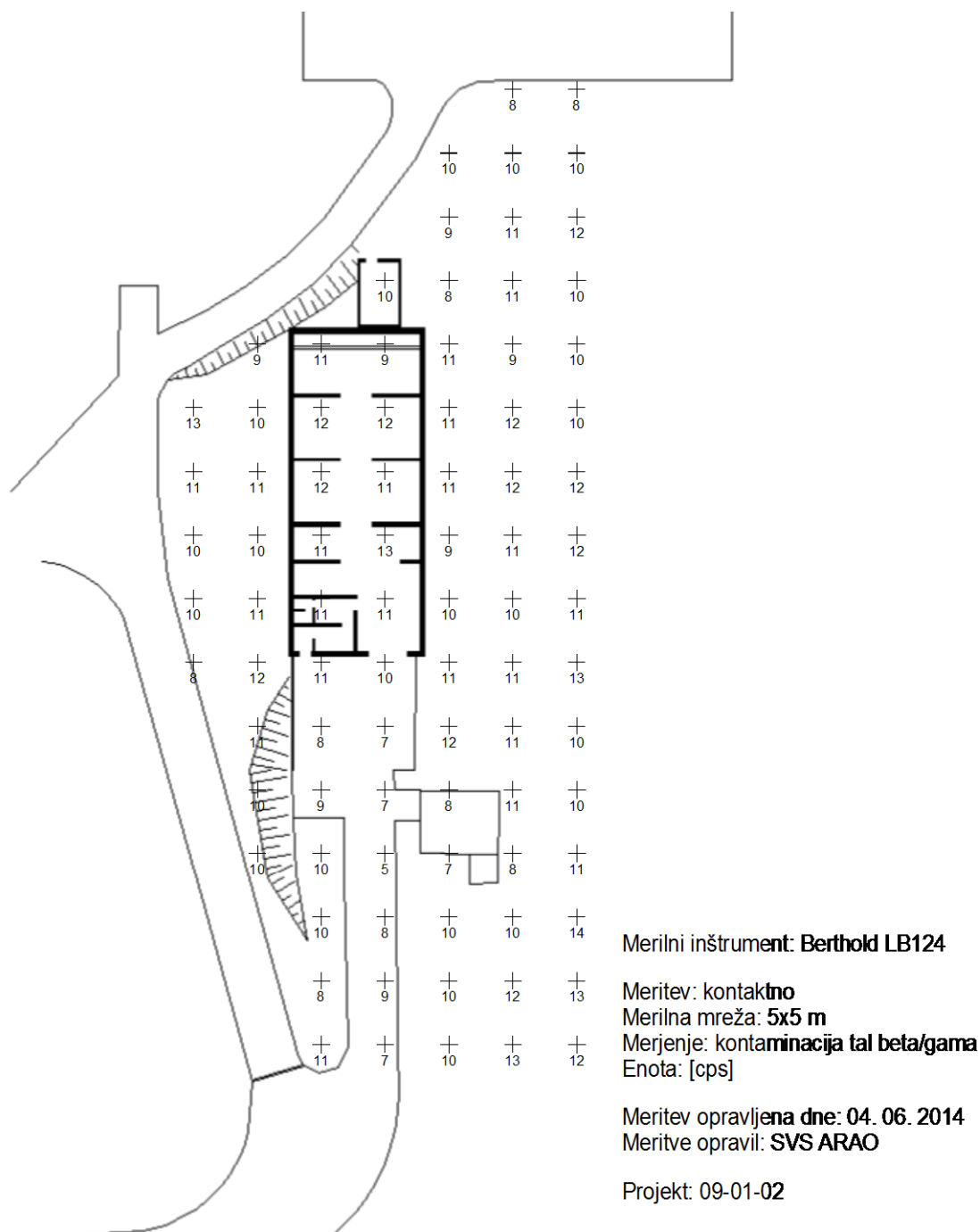
ARAO je opravil tudi meritve alfa in beta/gama kontaminacije na merilni mreži $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ (slike 5, 6 in 7). Rezultati meritev kažejo, da v okolju ni prisotne alfa kontaminacije. Z meritvami površinske beta/gama kontaminacije je bilo zaznano le običajno naravno ozadje ($6 - 12 \text{ cps}$).

2.5.2 TALNI USED

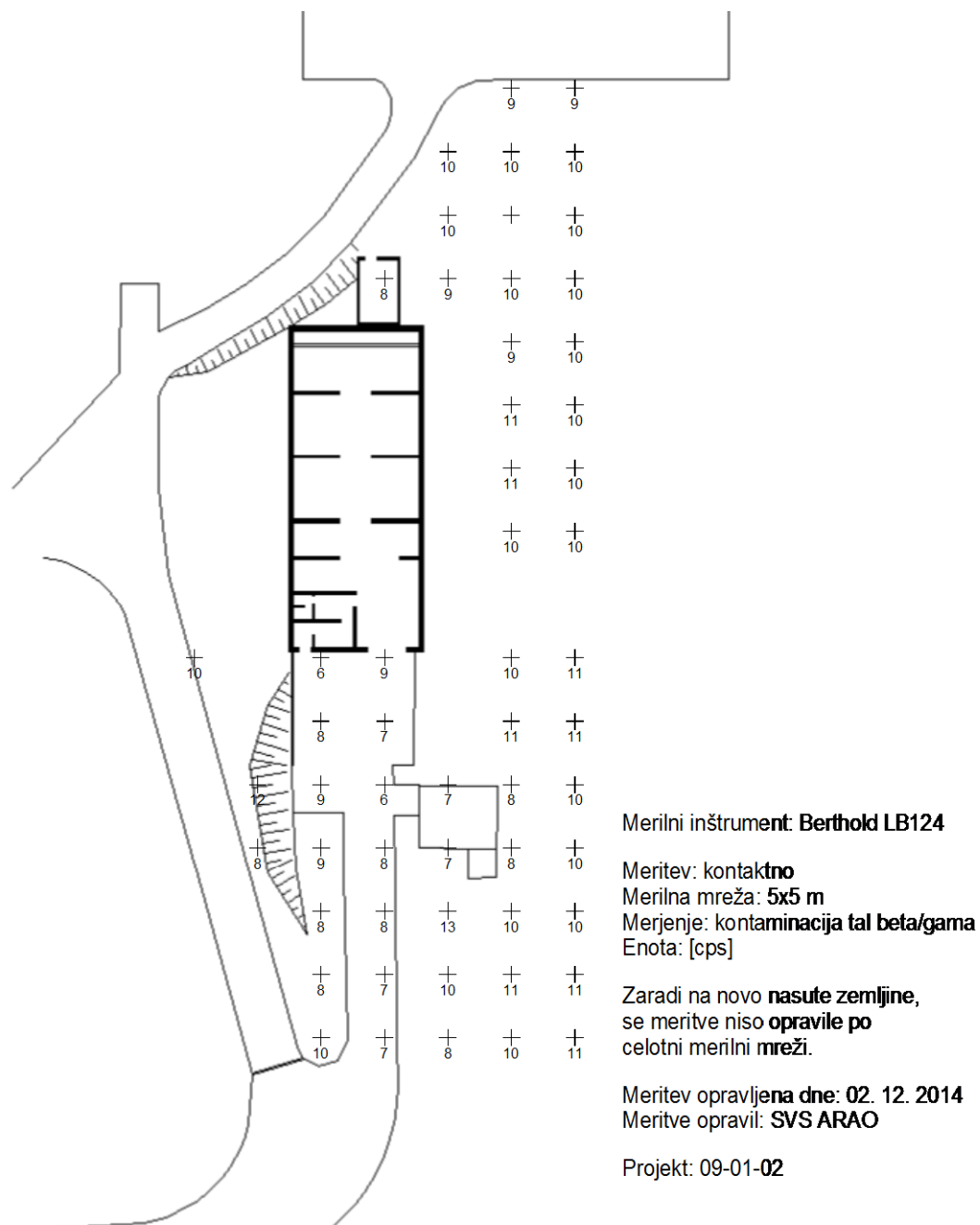
V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji južno ob ograji 50 m od CSRAO, ki meri celoletni suhi used. Namen meritev useda na vazelinski plošči je ocena depozita radioaktivnosti v primeru izrednega dogodka. Iz tabele 9 je razvidno, da so bili na vazelinski plošči izmerjeni naravni radionuklidi in Cs-137, ki je del globalne kontaminacije. Rezultati so bili v okviru merske negotovosti primerljivi z meritvami iz predhodnih let.

Aktivnost kozmogenega radionuklida Be-7 ($2,0 \text{ E}+04 \text{ Bq/m}^2$) izrazito odstopa od meritev v preteklih letih, ko smo običajno izmerili aktivnosti okrog 700 Bq/m^2 . Berilij je odvisen predvsem od kozmičnega sevanja, mešanja zračnih mas in izpiranja atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

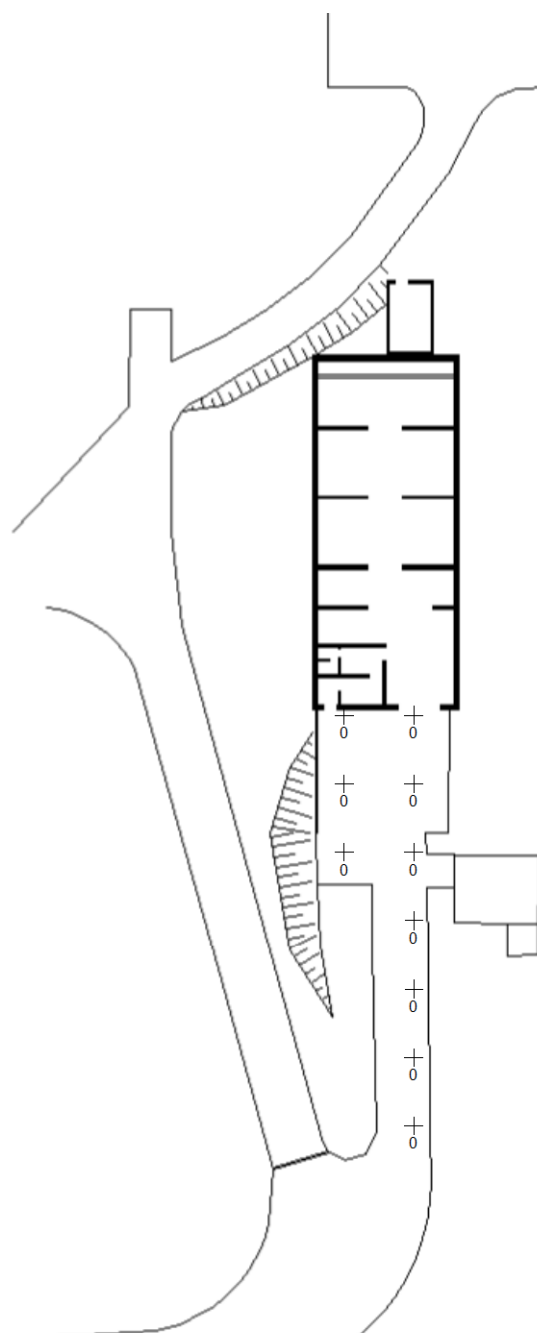
Na vazelinski plošči nismo zaznali morebitnega vpliva obratovanja jedrskih objektov na Reaktorskem centru.



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



Slika 6: Izmerjene vrednosti kontaminacije površin s sevalci beta/gama (v cps), izmerjena kontaktno s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO na Brinju.



Merilni inštrument: **Berthold LB124**

Meritev: **kontaktno**

Merilna mreža: **5x5 m**

Merjenje: **kontaminacija tal - alfa**

Enota: [cps]

Meritev opravljena dne:

10. 09. 2014 in **09. 12. 2014**

Meritve opravil: **SVS ARAO**

Projekt: 09-01-02

Slika 7: Izmerjene vrednosti kontaminacije površin s sevalci alfa (v cps), izmerjena kontaktno s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO na Brinju.



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 skladišča 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. 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 (6 ± 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 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).

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 in 2014	~6 Bq/s

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2014 ocenjujemo na približno 0,2 GBq/leto, kar je enako kot smo ocenil v letu 2011, 2012 in 2013.

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 $0,32 \text{ Bq/m}^3$ nad ozadjem.



Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 5,8 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)	4,64	0,58	0,23	0,06
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred E:	1,8	0,2	0,07	2,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m ³)	10,45	1,16	0,41	0,12

3.2 TEKOČINSKI IZPUSTI

Rezultati vzorčenja vode iz podzemnega rezervoarja skladišča (odpadne vode iz skladišča) kažejo, da je v vodi prisoten v sledovih Am-241. Izmerjena koncentracija je daleč pod mejo za opustitev nadzora (Uredba o sevalni dejavnosti UV1, tabela 3) in tudi daleč pod omejitvijo za pitno vodo.

Po opravljenih meritvah so bile odpadne vode iz podzemnega rezervoarja odpeljane na komunalno čistilno napravo. 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 zunanje sevanja gama;
- inhalacijo radonovih potomcev.

Vpliv zunanje sevanja smo ovrednotili na podlagi rezultatov meritev TLD.

Vpliv radona in potomcev smo ocenili na podlagi ocenjenega povprečnega izpusta 5,8 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 Rektorskega centra (odrasla oseba).

Slednji predstavlja referenčno skupino iz prebivalstva. Po naših ocenah se druge starostne skupine prebivalstva časovno zelo omejeno zadržujejo v neposredni okolici Rektorskega 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 konzervativno 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 in potomcev 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)	0,38	0,02	0,81
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza (μSv)	0,38	0,02	0,81



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 × 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 × 3 (prvo leto 3 detektorji na merilno mesto)

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-krat letno



(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	RA14-VN1-41 23. 4. 2014
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
K-40	2,0E+02 ± 2,0E+01
Cs-137	4,9E-01 ± 8,1E-02
Pb-210	7,1E+00 ± 7,0E-01
Ra-226	1,2E+01 ± 1,1E+00
Th-228	<4,2E-01
U-238	8,7E-01 ± 4,5E-01
Am-241	5,3E-01 ± 5,5E-02

4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: *Mesečne doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2014. Meritve je izvedel IJS.*

Datum	Mesec	t1 - tovorna vrata CSRAO	t2 - vrata strojnice	t3 - streha CSRAO	t4 - 10 m od vrat CSRAO	t5 - 30 m od vrat CSRAO	t6 - 50 m od vrat CSRAO
6. 1. - 10. 2. 2014	Januar	0,099	0,059	0,099	0,077	0,085	0,101
10. 2. - 10. 3. 2014	Februar	0,080	0,051	0,082	0,066	0,072	0,075
10. 3. - 7. 4. 2014	Marec	0,084	0,044	0,076	0,063	0,073	0,073
7. 4. - 12. 5. 2014	April	0,093	0,054	0,092	0,071	0,085	0,085
12. 5. - 9. 6. 2014	Maj	0,072	0,045	0,078	0,058	0,073	0,073
9. 6. - 7. 7. 2014	Junij	0,081	0,047	0,078	0,054	0,069	0,075
7. 7. - 11. 8. 2014	Julij	0,097	0,057	0,096	0,080	0,093	0,099
11. 8. - 10. 9. 2014	Avgust	0,089	0,049	0,083	0,066	0,079	0,077
10. 9. - 6. 10. 2014	September	0,074	0,040	0,067	0,054	0,065	0,065
6. 10. - 10. 11. 2014	Oktober	0,099	0,058	0,097	0,078	0,096	0,094
10. 11. - 8. 12. 2014	November	0,081	0,047	0,083	0,065	0,070	0,078
8. 12. - 9. 1. 2015	December	0,097	0,057	0,087	0,069	0,081	0,083
Letna doza (mSv):		1,05	0,61	1,02	0,80	0,94	0,98



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.

2014	Koncentracija [Bq/m ³]							
	30. 12. - 31. 3. 2014	Uteženo povprečje	31. 3. - 1. 7. 2014	Uteženo povprečje	1. 7. - 29. 9. 2014	Uteženo povprečje	29. 9. - 5. 1. 2015	Uteženo povprečje
D1 - 10 m od vrat CSRAO	12,5 ± 2,8	12,8 ± 2,0	14,2 ± 3,7	14,7 ± 2,6	39,3 ± 6,5	25,1 ± 3,8	18,3 ± 3,4	19,3 ± 2,7
	13,0 ± 2,8		15,1 ± 3,7		18,0 ± 4,6		20,8 ± 4,3	
D2 - Ograja RC	14,4 ± 3,7	13,2 ± 2,2	14,7 ± 3,7	13,2 ± 2,2	17,1 ± 4,6	19,2 ± 3,3	18,7 ± 4,3	23,5 ± 3,5
	12,5 ± 2,8		12,4 ± 2,7		21,3 ± 4,6		32,7 ± 6,0	
D3 - Nad CSRAO	13,9 ± 2,8	13,0 ± 2,0	9,2 ± 2,7	9,4 ± 1,9	16,7 ± 4,6	17,2 ± 3,3	24,7 ± 4,3	19,6 ± 3,0
	12,0 ± 2,8		9,6 ± 2,7		17,6 ± 4,6		14,5 ± 4,3	

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:	RA14-VRP1-81 Severna vrtina 27. 8. 2014	RA14-VRP2-81 Južna vrtina 27. 8. 2014
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	< 3,0E+00	5,1E+00 ± 9,6E+00
K-40	4,6E+01 ± 5,0E+00	4,0E+01 ± 4,5E+00
Cs-137	< 2,2E-01	< 2,3E-01
Pb-210	4,5E+00 ± 2,0E+00	< 7,5E+00
Ra-226	2,7E+00 ± 7,0E+00	3,4E+00 ± 1,2E+00
Ra-228	2,6E+00 ± 6,6E-01	1,4E+00 ± 4,7E-01
Th-228	1,5E+00 ± 3,1E-01	1,5E+00 ± 2,3E-01
U-238	8,3E+00 ± 2,2E+00	4,5E+00 ± 2,0E+00



4.2.5 Meritve kontaminacije tal

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

	HPGe –IJS (ELME) 8. 10. 2014	3×3" NaI(Tl) – ARAO 29. 9. 2014
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	9 ± 3	–
K-40	300 ± 50	293
Cs-137	18 ± 3	22
Ra-226	51 ± 8	40
Ra-228	31 ± 5	–
Th-228	34 ± 5	28*
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m²)	
Be-7	420 ± 150	–
Cs-137	970 ± 160	660

* Th-228 izračunan iz aktivnosti izmerjenega Tl-208 (10 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:	RA14-PV1-M1 6. 1. 2013 – 9. 1. 2014
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	2,0E+04 ± 7,5E+02
K-40	4,0E+00 ± 5,8E-01
Cs-137	5,0E-01 ± 3,9E-01
Pb-210	9,2E+01 ± 3,9E+00
Ra-226	1,2E+00 ± 6,5E-01
Ra-228	3,9E-01 ± 9,3E-02
Th-228	1,3E+00 ± 8,8E-02
U-238	1,5E+00 ± 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/m^3 .

ZEMLJA

- Aktivnost vzorcev zemlje se podaja v Bq/kg "osušene zemlje" in v Bq/m^2 . 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: $H^*(10) = 1,22 \times K_a$. K_a je absorbirana doza v zraku, izražena z enoto Gy (Gray).

ZRAK

- Aktivnost radona brez podatkov o potomcih se podaja v " Bq/m^3 Rn".
- Aktivnost radonovih potomcev se podaja s koncentracijo radona v ravnovesju s potomci " Bq/m^3 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/m^3 :

$$F = \text{EEC} / \text{Konc.}_{\text{Rn-222}}$$



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), Thurso, Združeno kraljestvo

IARMA ERAD-PT-2013 Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil and Water

V letu 2013 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 z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končni rezultati so bili objavljeni marca 2014 [IARMA ERAD-PT-2013, Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil and Water, International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom, april 2014, poročilo je dosegljivo na spletni strani <http://www.iarma.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/ERAD-PT-2013-Report-final-30-April-2014.pdf>].

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 12 za Odsek F-2) ter primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v vzorcih kontaminirane vode in zemlje.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ERAD-PT-2013					
Sample IARMA-001, Soil Sample					
analize IJS opravljene <i>novembra 2013</i> , končni rezultati objavljeni <i>aprila 2014</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 12	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
K-40	440,0 ± 15,0	390,7 ± 27,3	-11,2	1,1	A
Cs-137	52,0 ± 1,3	48,8 ± 1,8	-6,2	0,6	A
Tl-208	12,8 ± 0,6	12,5 ± 0,4	-2,6	0,3	A
Pb-210	60,5 ± 3,4	59,8 ± 3,9	-1,2	0,1	A
Pb-212	41,3 ± 3,0	34,8 ± 1,4	-15,7	1,6	A
Pb-214	42,9 ± 2,3	42,5 ± 2,0	-0,9	0,1	A
Bi-214	42,7 ± 1,0	43,4 ± 1,7	1,6	-0,2	A
Ra-226	44,1 ± 1,7	42,9 ± 1,9	-2,6	0,3	A
Ac-228	35,9 ± 0,9	35,8 ± 1,2	-0,3	0,0	A



IARMA ERAD-PT-2013 Sample IARMA-002, Water Sample analize IJS opravljene <i>novembra 2013</i> , končni rezultati objavljeni <i>aprila 2014</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 12	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	3,08 ± 0,10	3,31 ± 0,15	7,4	-0,7	A
Co-60	3,23 ± 0,10	3,29 ± 0,16	1,9	-0,2	A
Ba-133	2,52 ± 0,06	2,55 ± 0,11	1,3	-0,1	A
Cs-134	2,99 ± 0,10	3,14 ± 0,15	5,1	-0,5	A
Cs-137	2,30 ± 0,10	2,37 ± 0,07	3,1	-0,3	A
Eu-152	4,07 ± 0,10	4,12 ± 0,22	1,2	-0,1	A
Pb-210	16,20 ± 0,50	17,33 ± 0,52	7,0	-0,7	A
Am-241	2,70 ± 0,10	2,69 ± 0,08	-0,5	0,0	A

IARMA ERAD-PT-2013 Sample IARMA-003, Water Sample analize IJS opravljene <i>novembra 2013</i> , končni rezultati objavljeni <i>aprila 2014</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 12	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	6,83 ± 0,22	7,29 ± 0,28	6,7	-0,7	A
Co-60	7,99 ± 0,24	7,91 ± 0,34	-1,0	0,1	A
Ba-133	4,86 ± 0,15	4,71 ± 0,17	-3,0	0,3	A
Cs-134	6,31 ± 0,20	6,30 ± 0,26	-0,2	0,0	A
Cs-137	13,98 ± 0,28	14,33 ± 0,49	2,5	-0,2	A
Eu-152	6,05 ± 0,20	6,13 ± 0,29	1,3	-0,1	A
Pb-210	28,60 ± 0,80	31,38 ± 1,38	9,7	-1,0	A
Am-241	7,10 ± 0,20	7,18 ± 0,22	1,2	-0,1	A



IARMA ERAD-PT-2013 Sample IARMA-004, Water Sample analize IJS opravljene <i>novembra 2013</i> , končni rezultati objavljeni <i>aprila 2014</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 12	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	16,54 ± 0,52	17,41 ± 0,61	5,3	-0,5	A
Co-60	19,54 ± 0,60	19,28 ± 0,65	-1,3	0,1	A
Ba-133	10,43 ± 0,31	10,09 ± 0,28	-3,3	0,3	A
Cs-134	13,85 ± 0,40	13,53 ± 0,47	-2,3	0,2	A
Cs-137	13,10 ± 0,39	13,16 ± 0,39	0,5	0,0	A
Eu-152	14,19 ± 0,43	13,85 ± 0,45	-2,4	0,2	A
Pb-210	53,30 ± 1,60	56,34 ± 3,90	5,7	-0,6	A
Am-241	16,20 ± 0,49	16,08 ± 0,48	-1,0	0,1	A

4.5.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of natural and artificial radionuclides in water, seaweed and sediment samples, IAEA-TEL-2014-04

V maju 2014 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec morskih alg in sedimenta za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli novembra 2014 [Individual Evaluation Report for Laboratory No. 23 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2014-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, november 2014].

V naslednjih 2 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS v vzorcih vod (koda laboratorija 23 za Odsek F-2). Prikazane so primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA za umetne radionuklide v vseh vzorcih kontaminirane vode ter za Pb-210 v vzorcu vode št. 1. Rezultati meritev ostalih naravnih radionuklidov pa so primerjani s povprečnimi vrednostmi sodelujočih laboratorijev (Robust Mean in Robust Standard Deviation). Vzorec vode št. 3 je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti.

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-2014-04 Sample 1, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja 2014</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2014</i>					
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 23	Rel. Bias %	u-test	Final score
	(Bq/kg)				
Cs-134	21,4 ± 0,2	20,8 ± 0,6	-2,80	-0,95	A
Cs-137	12,06 ± 0,1	12,0 ± 0,4	-0,50	-0,15	A
Pb-210	49,87 ± 1,23	53,4 ± 2,8	7,08	1,15	A

IAEA-TEL-2014-04 Sample 2, Spiked Water analize IJS opravljene <i>maja 2014</i> , individualni rezultati objavljeni <i>novembra 2014</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 23	Rel. Bias %	u-test	Z-test	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	16,25 ± 0,2	16,5 ± 0,5	1,54	0,46	-	A
Eu-152	50,05 ± 0,41	49,1 ± 1,0	-1,90	-0,88	-	A
Pb-214	14,2 ± 1	12,9 ± 1,1	-	-	-1,30	A
Bi-214	14,2 ± 1	13,3 ± 1,0	-	-	-0,90	A



4.6 REFERENČNA DOKUMENTACIJA

- Mesečna poročila o rezultatih analiz v okviru programa nadzornih meritev v okolici Centralnega skladišča RAO v Brinju, IJS
- 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)
- 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

- LMR-OP-04/06* Organizacija laboratorija in razporeditev delavcev - Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti
- LMR-OP-05/07* Sistematizacija in razporeditev delavcev - Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti

Delovna navodila

- LMR-DN-05/04* Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod
- LMR-DN-06/10* Priprava sušine vzorcev vode
- LMR-DN-08/07* Priprava vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
- LMR-DN-09/08* Označevanje vzorcev za visokoločljivostno spektrometrijo gama
- LMR-DN-10/12* Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju
- LMR-DN-11/09* Dodatna navodila za uporabo programov za analizo meritev na VLG
- LMR-DN-27/05* Rokovanje z vzorci
- ELME-DN-14/08* Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama

Kontrolni postopki

- LMR-KP-06/02* Zagotavljanje kakovosti merskih rezultatov
- LMR-KP-07/02* Medlaboratorijske primerjalne meritve in preverjanja usposobljenosti laboratorija
- LMR-KP-08/01* Kriteriji sprejemljivosti delovanja spektrometrov gama
- LMR-KP-09/01* Preverjanje kakovosti kontrolnih virov

Računski postopki

- LMR-RP-01/01* Ocena sevalnih obremenitev
- LMR-RP-02/00* Struktura direktorijev in kratek opis datotek na delovni postaji Alpha
- LMR-RP-03/00* 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-01/02 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 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)