

IJS delovno poročilo
IJS-DP-12051
Ljubljana, februar 2016

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju

POROČILO ZA LETO 2015



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 2015

Odgovorni nosilec naloge: dr. Marijan Nečemer

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

Štev. del. poročila IJS: IJS-DP-12051

Štev. projekta ARAO: 15-0-09-01-002

Štev. pogodbe ARAO: ARAO P004/2015

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		

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



IJS-DP-12051
februar 2016

NASLOV POROČILA:

Nadzor radioaktivnosti Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju –
Poročilo za leto 2015

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 2015 je bila dozna obremenitev na posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (okoliški kmet) konzervativno ocenjena na 0,02 $\mu\text{Sv}/\text{leto}$.

IJS-Report-12051
February 2016

REPORT TITLE:

Monitoring of Central LILW Storage Facility at Brinje –
Report for the year 2015

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 2015 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	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.....	22
4.2.3	Zrak.....	22
4.2.4	Voda (podtalnica)	23
4.2.5	Meritve kontaminacije tal	24
4.2.6	Talni used	24
4.3	Enote in nazivi količin	25
4.4	Orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG spektrometrijo.....	26
4.5	Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev	27
4.5.1	National Physical Laboratory (NPL), Teddington, Združeno kraljestvo	27
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 2015. 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 2015 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).

ARAO je izvedel zamenjavo lesenih palet s kovinskimi samonosnimi paletnimi okvirji, s čimer so posodobili način skladiščenja paketov RAO v skladišču. Izboljšano je tudi skladiščenje z vidika stabilnosti paketov, požarne varnosti objekta, dostopnosti do paketov in delovnih pogojev iz vidika sevalne varnosti in varnosti pri delu. Dela so potekala tako, da so postopno praznili prekate v CSRAO z izvozom paketov RAO na asfaltirane površine pred objekt. Za tem je bilo opravljeno čiščenje prekatov, zamenjava palet, pregled paketov, označevanje in na koncu ponovno polnjenje prekatov. Zamenjava palet je potekala zunaj objekta. Še isti dan so bili paketi s paletami vrnjeni v objekt. Dela so potekala od maja do oktobra (pretežno v maju, juniju in juliju) v suhem in stabilnem vremenu. V času dela so bili paketi RAO tudi na lokacijah blizu nadzornih merilnih mest za merjenje doze zunanjega sevanja. Dostop do objekta je bil v času del ograjen, tako da je bil dostop do lokacije CSRAO omejen in nadzorovan.



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. Prispevek radona v CSRAO je v določeni 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. 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 0,2 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 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

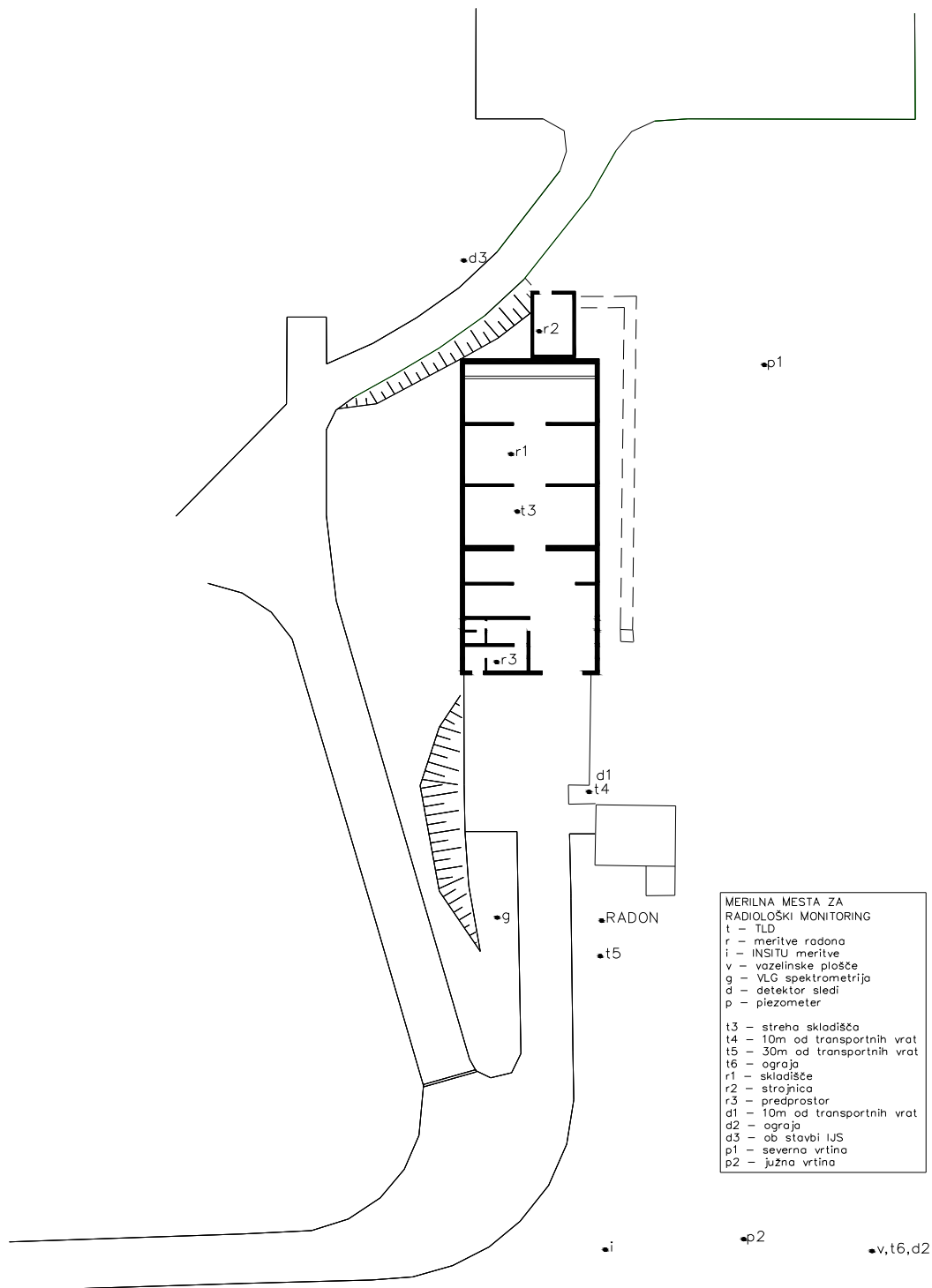
Pri izpostavljenosti referenčnih skupin prebivalstva sta obravnavani glavni prenosni poti: notranja obsevanost zaradi inhalacije radonovih potomcev in neposredno zunanje sevanje iz objekta. Na podlagi ocene emisij v okolje in imisijskih meritev je bila narejena konservativna ocena prejetih doz za tri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



2.2 VZORČEVALNA MESTA

Na sliki 1 so podane lokacije vzorčenja iz programa nadzora radioaktivnosti za leto 2015.



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 januarju in avgustu 2015. 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 $3,0E-01 \text{ Bq/m}^3$ (drugi vzorec). V letu 2014 je bila aktivnost zelo podobna $4,9E-01 \text{ Bq/m}^3$.

Za razliko od preteklega leta, Am-241 v tem letu ni bil zaznan. V letu 2014 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 aktivnost je bila okrog 200 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 10. 8. 2015 do 31. 8. 2015 ter v zimskem obdobju od 18. 12. 2015 do 11. 1. 2016. 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.

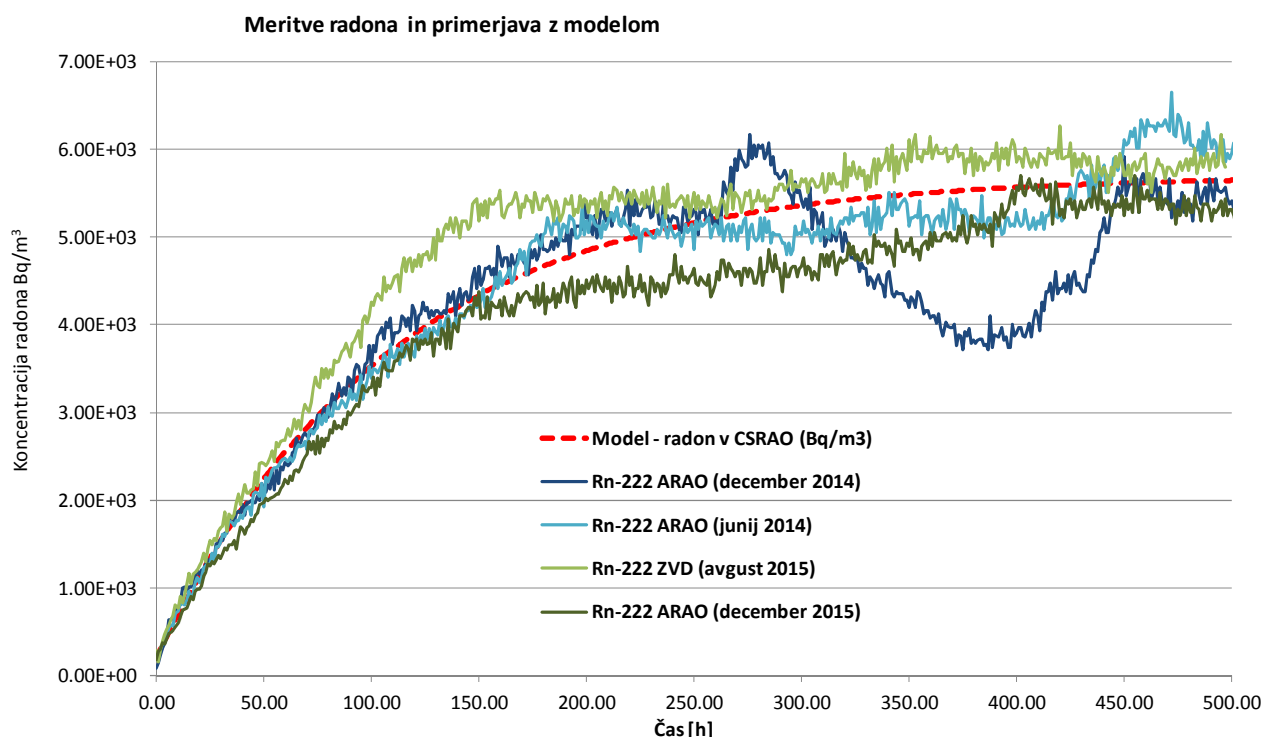
V letu 2015 je bila izmerjena ravnovesna koncentracija radona v zaprtem in neprezračevanem skladišču okrog 6000 Bq/m^3 v poletnem obdobju (graf 1). Ravnovesna koncentracija radona v zimskih mesecih je bila nekoliko nižja (okrog 5700 Bq/m^3). V zadnjih letih opažamo, da ni bistvenih razlik med poletnimi in zimskimi meritvami. Nihanja so predvsem vezana na spremembo zunanjega tlaka. 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.

V preteklih letih se je koncentracija radona v skladiščnem prostoru izrazito spreminjala. Kadar skladiščni prostor daljši čas ni bil prezračevan, je bila pred letom 2004 običajna koncentracija radona do 8000 Bq/m^3 . Po rekonstrukciji CSRAO leta 2004 je koncentracija radona v zaprtem skladiščnem prostoru pri zaprtih loputih za dovod svežega zraka narasla v treh tednih na okrog 20.000 Bq/m^3 . Visoke koncentracije radona so bile posledica slabega tesnjenja sodov, ki so vsebovali radij in boljše tesnosti 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 koncentracija radona v skladiščnem prostoru po letu 2008 padla na okrog 5000–6000 Bq/m³.

Izpuste radona v okolje se ocenjuje preko meritev trenutne koncentracije radona v skladiščnem prostoru. Po enaki metodologiji smo iz meritev naraščanja koncentracije radona pri neprežračevanem 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 filterih.



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

2.4 MERITVE V OKOLJU

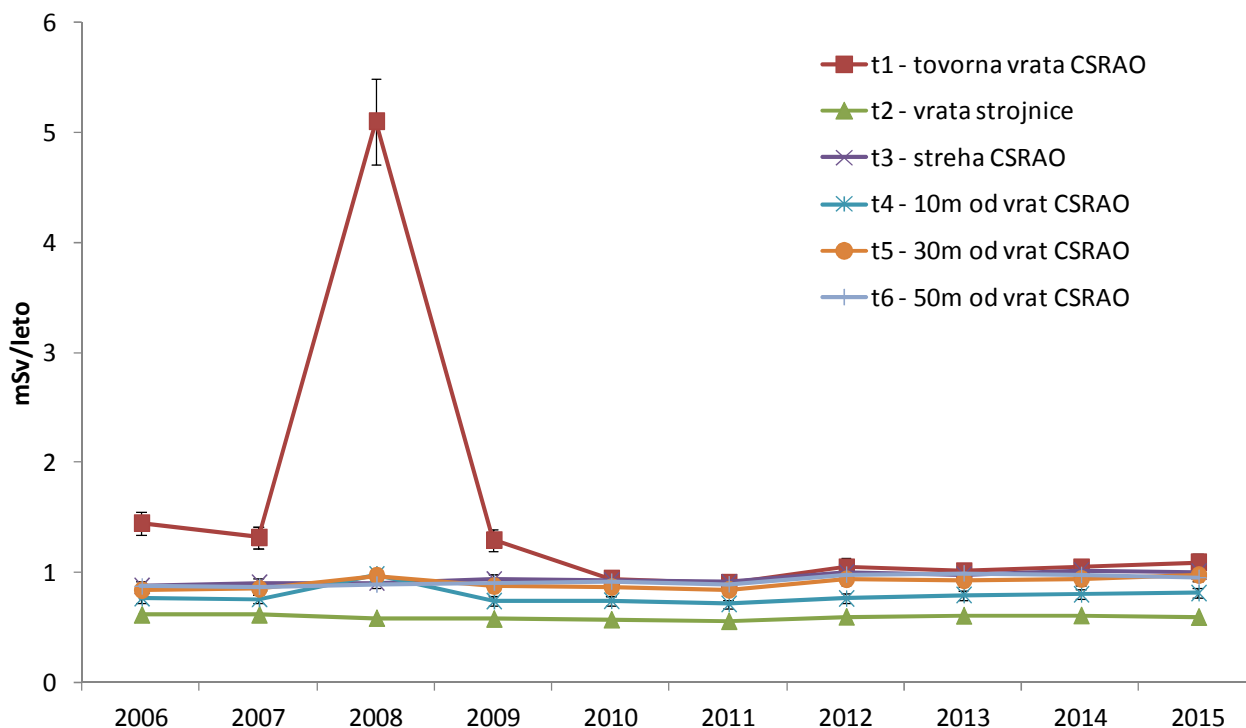
2.4.1 ZUNANJE SEVANJE

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 bila 1,09 mSv (1,05 mSv v letu 2014 in 1,01 mSv v letu 2013). 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 ustrežnejšo embalažo in boljše razmestitve RAO v CSRAO.



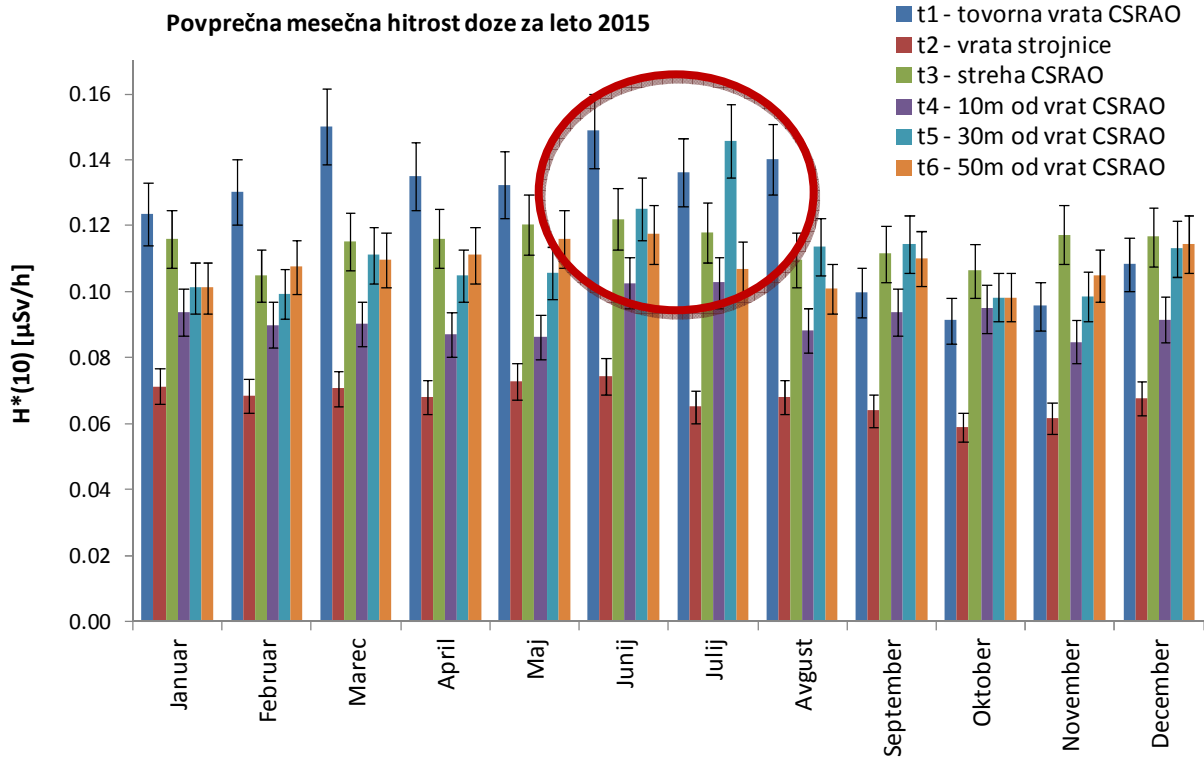
Graf 2: Rezultati meritev zunanjega sevanja s TLD okrog skladišča

Iz grafa 3 lahko razberemo, da je bila največja izmerjena povprečna mesečna hitrost doze na vratih skladišča v mesecu marcu in juniju $0,15 \mu\text{Sv/h}$, kar je nekoliko več kot v preteklem letu. Iz dozimetrije lahko opazimo, da je v objektu CSRAO in njegovi neposredni okolici potekala dejavnost prepakiranja sodov na nove kovinske palete. Dela so potekala tako, da so postopno praznili prekate v CSRAO deloma tudi z izvozom paketov RAO na asfaltirane površine pred objekt. V času dela so bili paketi RAO tudi na lokacijah blizu nadzornih merilnih mest za merjenje doze zunanjega sevanja. Dela so potekala večinoma v juliju, zaradi tega je opazno tudi minimalno povišanje povprečne julijske in junijske hitrosti doze na merski točki t5 - 30 m od vrat skladišča ($0,15 \mu\text{Sv/h}$). Skupna letna doza 30 m od objekta CSRAO je bila 0,98 mSv (0,94 mSv v letu 2014). Od avgusta dalje lahko opazimo predvsem na vratih skladišča nižje hitrosti doze, kar je posledica dobre razporejenosti RAO po prekatih.

Letne doze na ostalih merskih točkah zelo malo odstopajo od preteklih let. 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

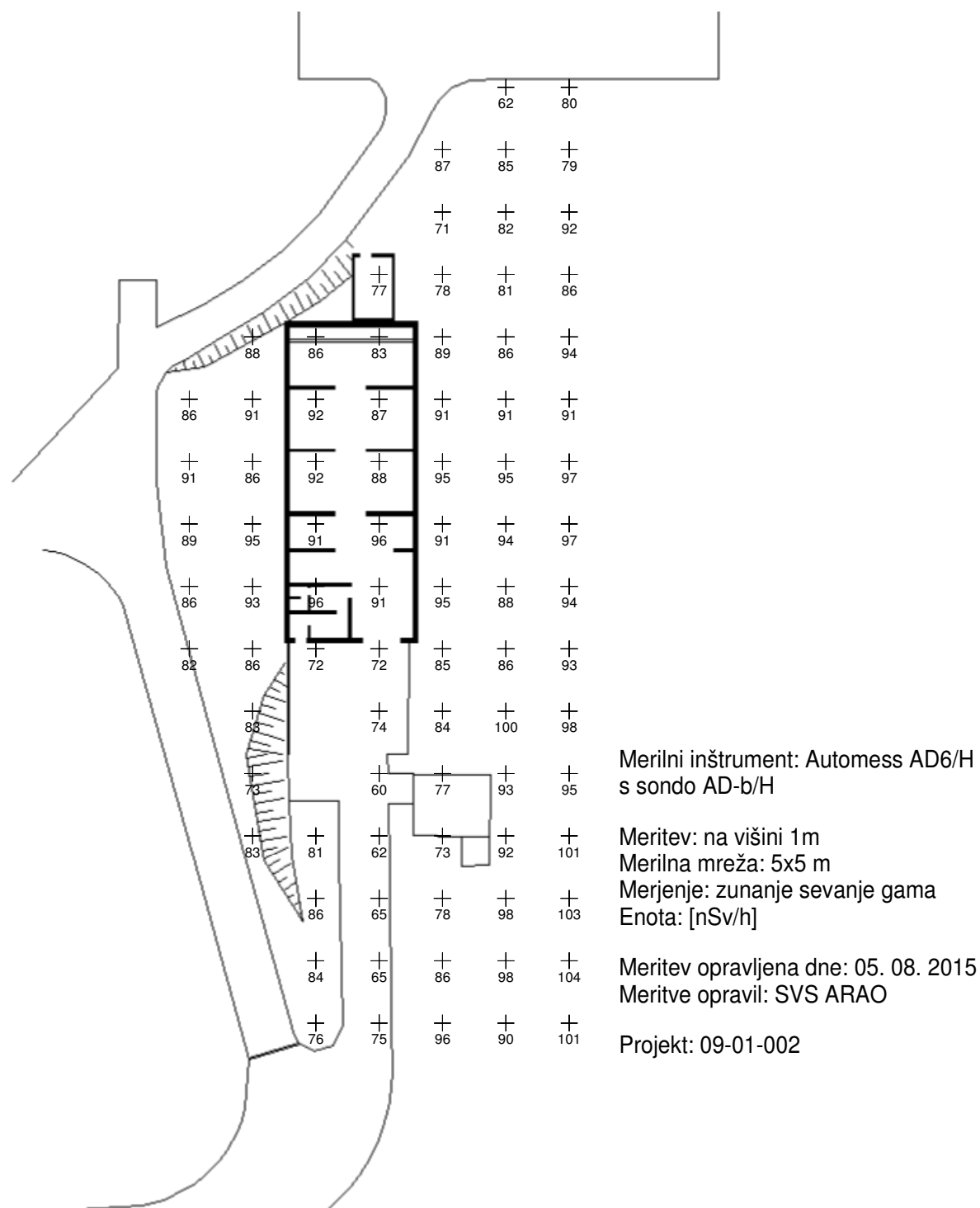


sevanja nemerljiv, saj je bila izmerjena letna doza 10 m od vrat 0,81 mSv in je bila nižja kot na referenčni lokaciji na ograji RC (0,95 mSv).

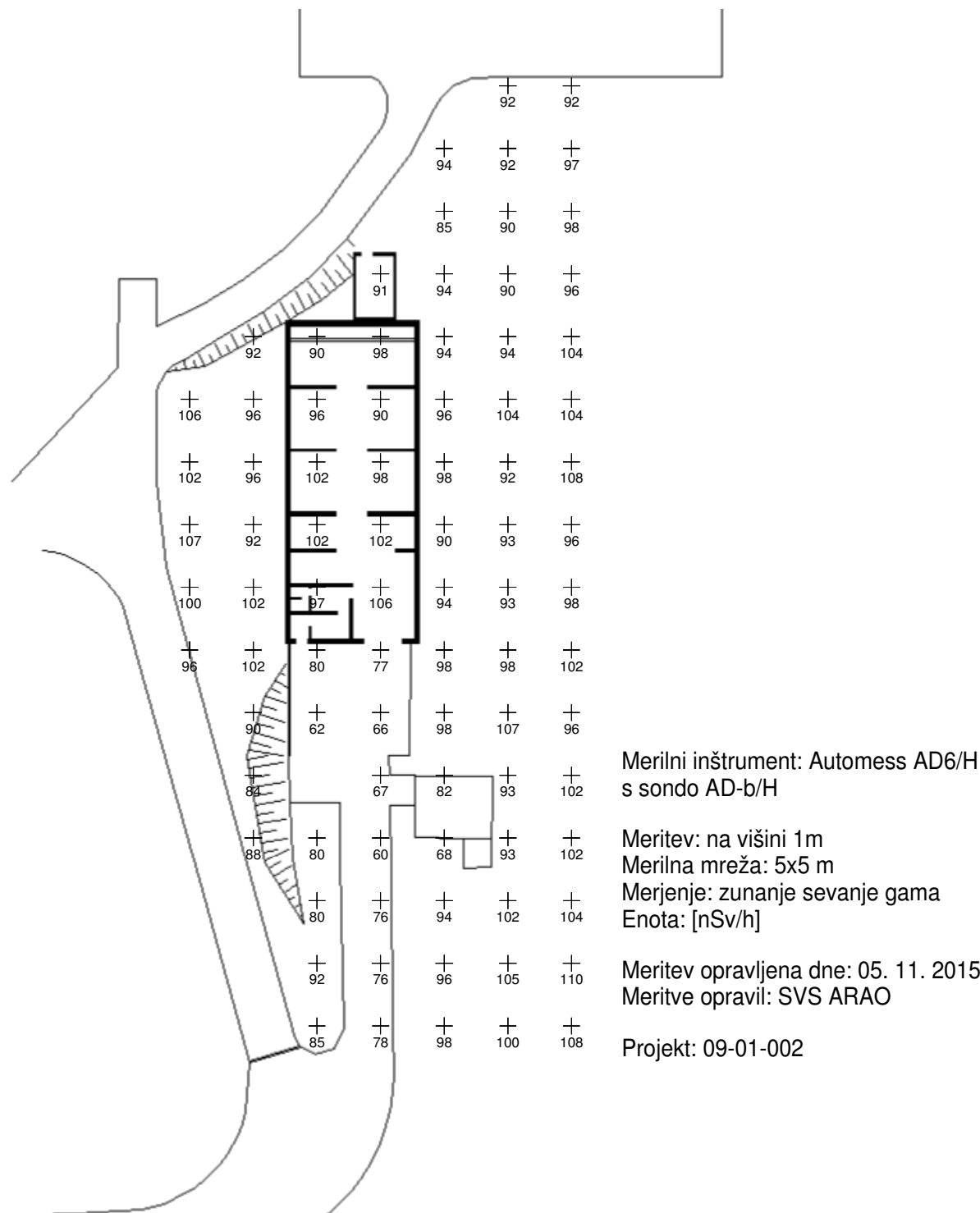


Graf 3: Povprečne mesečne hitrosti doze zunanjega sevanja v okolici skladišča leta 2015. Opazna je dejavnost prepakiranja RAO v mesecu juniju in juliju.

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 (asfaltna površina pred CSRAO) pa do 0,110 µSv/h (na travniku ob objektu CSRAO). Vrednosti so primerljive z meritvami TLD.

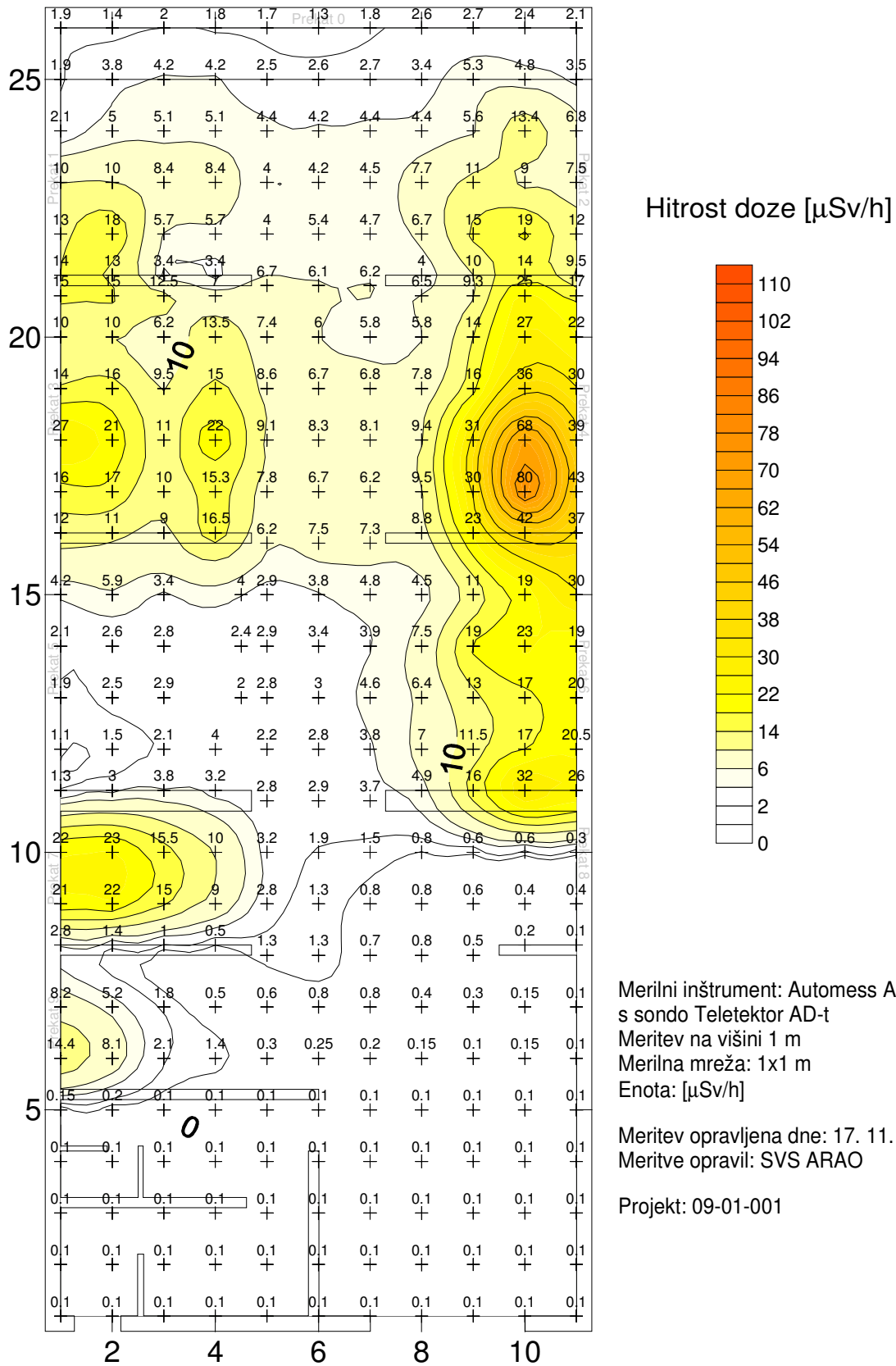


Slika 2: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO dne 5. 8. 2015



Slika 3: Izmerjene vrednosti hitrosti doze $H^*(10)$ [nSv/h] s prenosnim merilnikom v okolici objekta CSRAO dne 5. 11. 2015

Na sliki 4 so prikazane meritve hitrosti doze v CSRAO. Nivoji zunanjega sevanja na transportni poti med prekati 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 80 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):

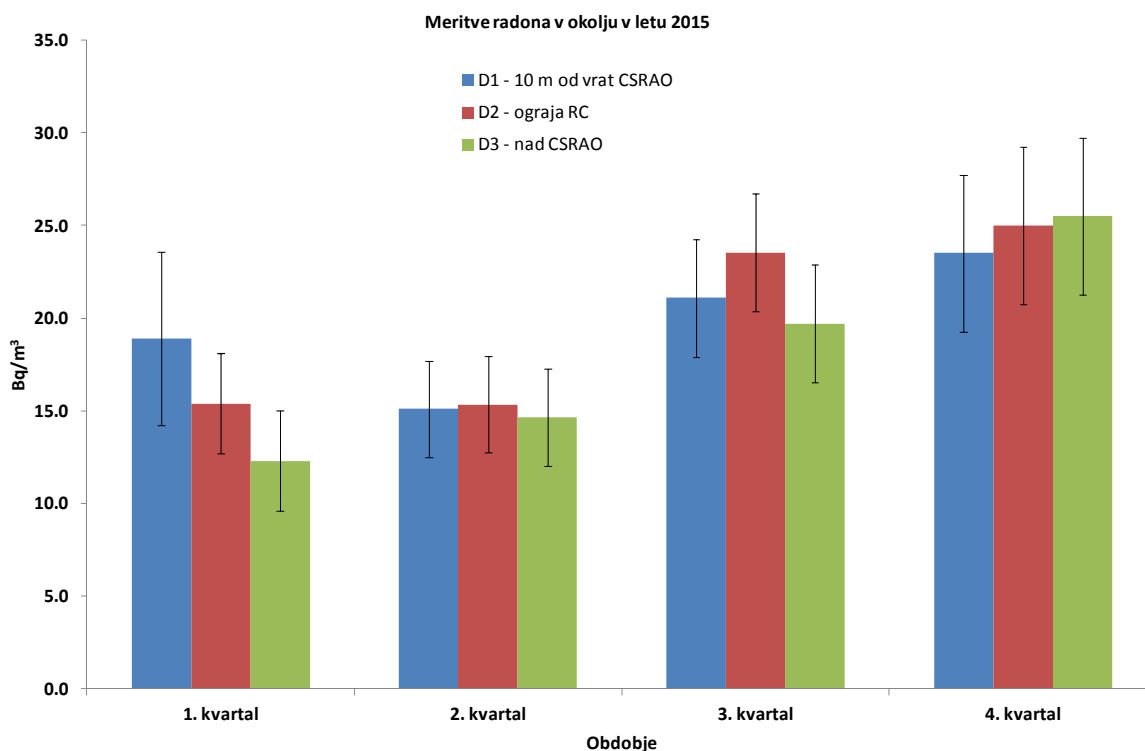
- ob pomožnem objektu 10 m od CSRAO (lokacija - D1);
- na ograji RC - južno (lokacija – D2);
- nad CSRAO - severno (lokacija – D3).

Na vsakem merilnem mestu sta bila istočasno izpostavljena dva detektorja na višini 150 cm nad tlemi. Rezultati meritev so podani na grafu 4 in v tabeli 6. Zaradi izrazito inverznih vremenskih pogojev je bila na vseh mestih najvišja izmerjena koncentracija v zadnjem kvartalu. Povprečna letna koncentracija radona na lokaciji D1 (10 m od CSRAO) je bila $(20 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$. Na lokaciji D3 (nad CSRAO ob stavbi IJS) je bila povprečna koncentracija $(18 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$ in na lokaciji D2 (ograja RC) je bila $(20 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$. Vse povprečne vrednosti so primerljive z rezultati meritev iz preteklih let ($15 \text{ Bq/m}^3 - 35 \text{ Bq/m}^3$).

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 2014, 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.



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 Pb-210 ($1,8 \text{ Bq/m}^3$), Ra-228 ($<2,5 \text{ Bq/m}^3$), Th-228 ($0,6 \text{ Bq/m}^3$), U-238 ($6,4 \text{ Bq/m}^3$) in K-40 (31 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.

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. 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.

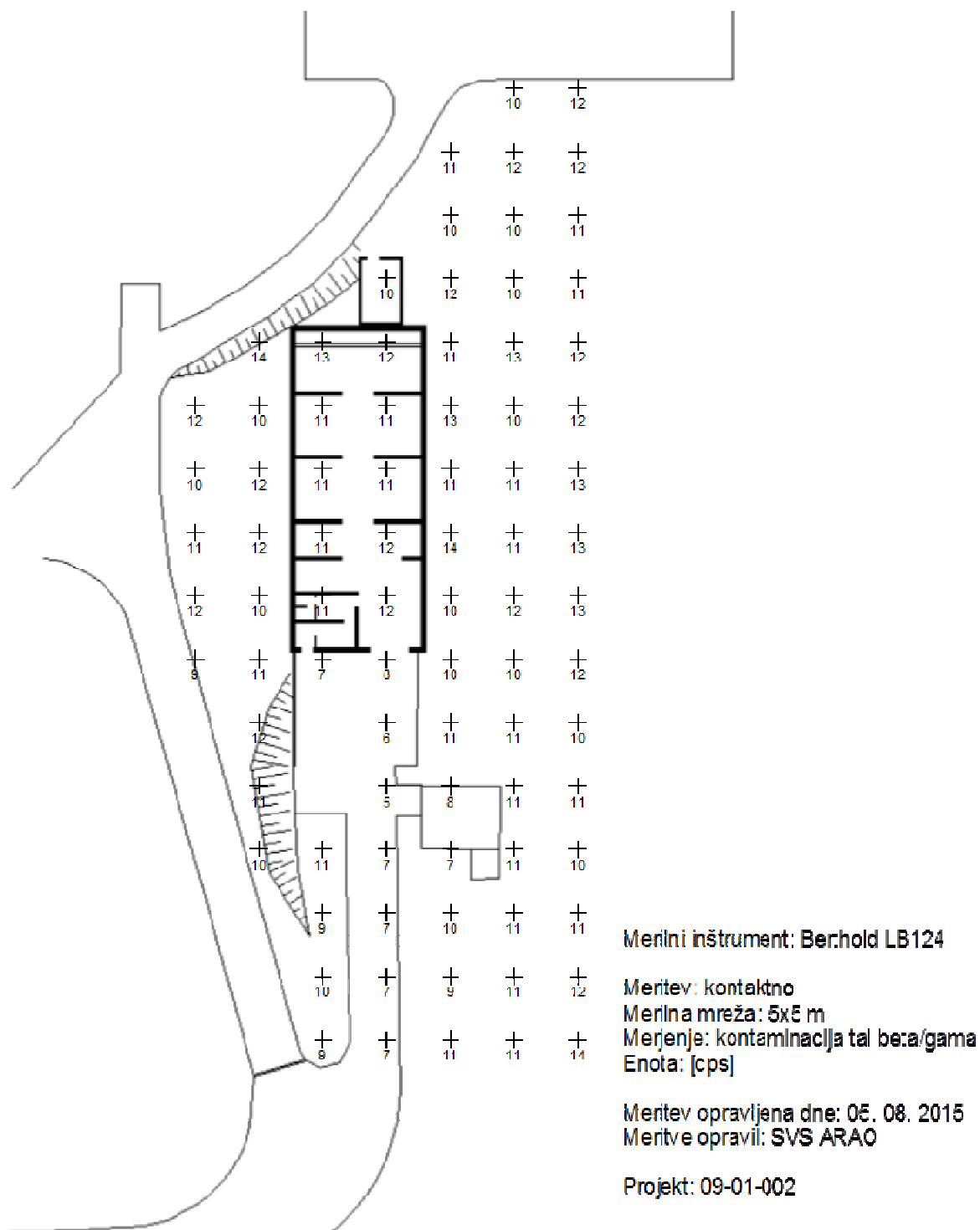
ARAO je opravil tudi meritve kontaminacije alfa in beta/gama na merilni mreži $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ (slike 5, 6 in 7). Rezultati meritev kažejo, da v okolju ni prisotne kontaminacije alfa. Z meritvami površinske beta/gama kontaminacije je bilo zaznano le običajno naravno ozadje ($5 - 14 \text{ cps}$).

2.5.2 TALNI USED

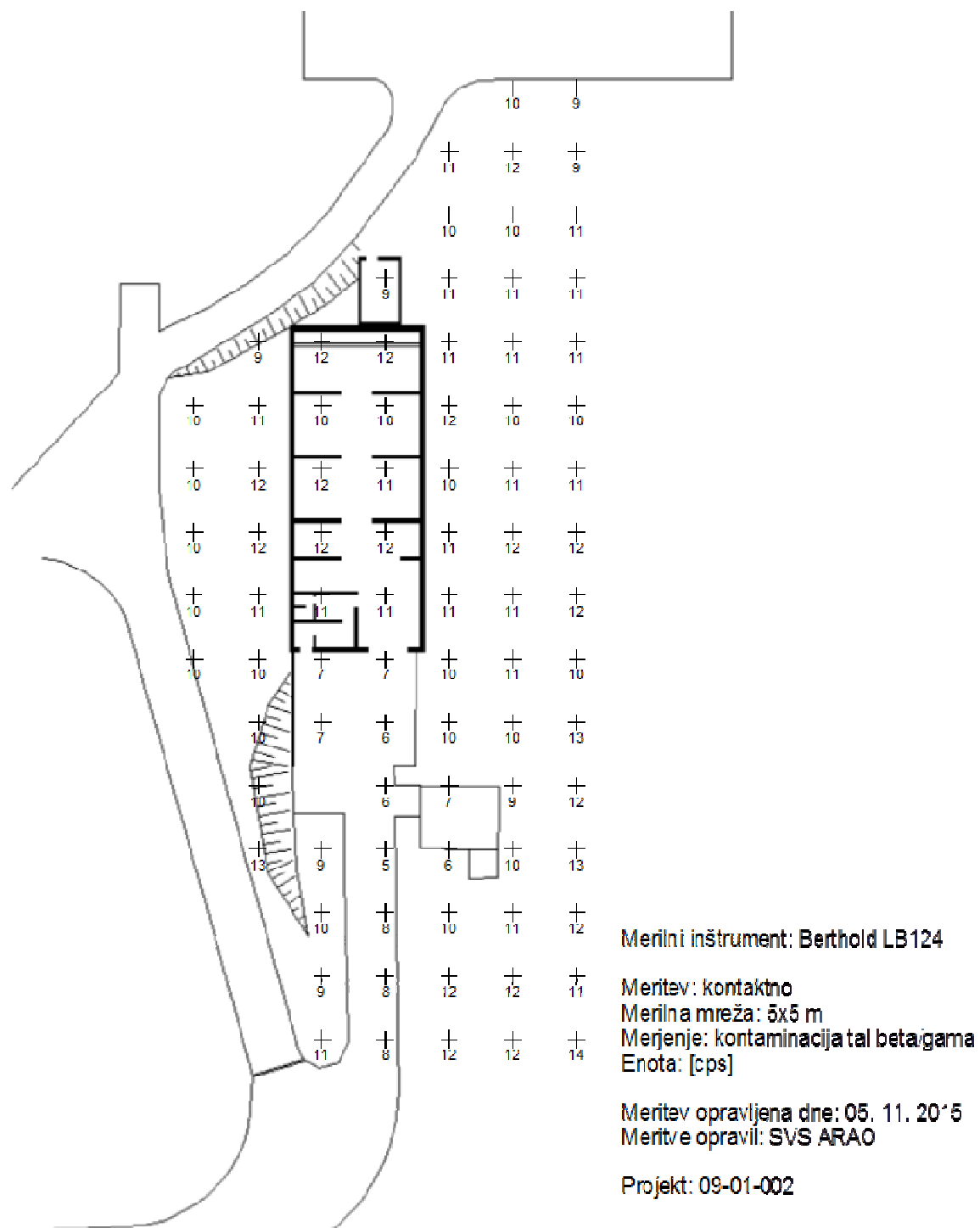
V okviru vzdrževanja pripravljenosti je nameščena vazelinska plošča na lokaciji južno ob ograji 50 m od CSRAO, ki meri celoletni suhi used. Namen meritev useda na vazelinski plošči je ocena depozita radioaktivnosti v primeru izrednega dogodka. Iz tabele 9 je razvidno, da so bili na vazelinski plošči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

Aktivnost kozmogenega radionuklida Be-7 je 780 Bq/m^2 kar je primerljivo z običajno izmerjenimi aktivnostmi okrog 700 Bq/m^2 . V letu 2014 je meritev Be-7 izrazito odstopala ($2,0 \text{ E}+04 \text{ Bq/m}^2$) najverjetneje zaradi velike količine padavin. Berilij je predvsem odvisen od kozmičnega sevanja, mešanja zračnih mas in izpiranja atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

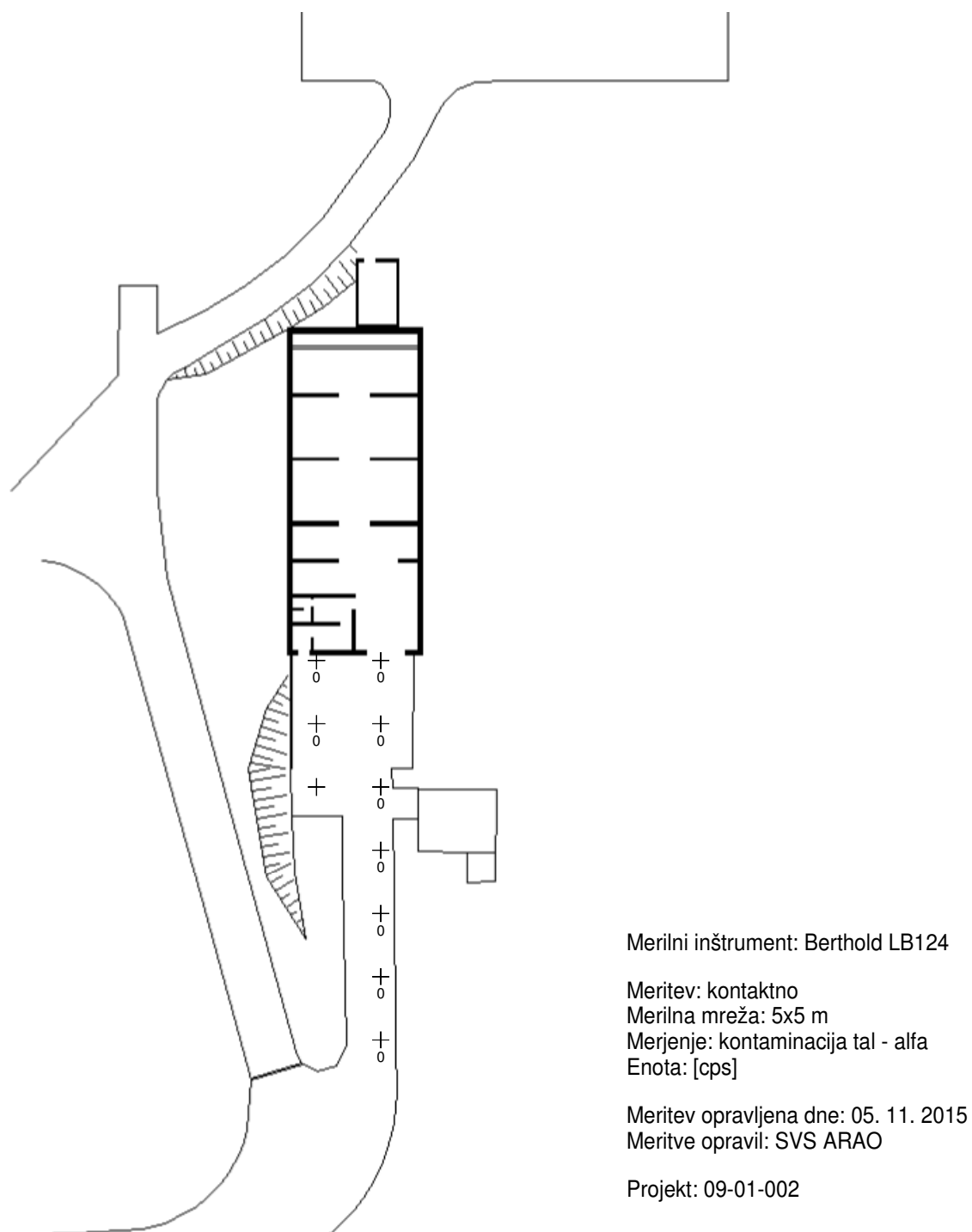
Na vazelinski plošči nismo zaznali morebitnega vpliva obratovanja jedrskih objektov na Rektorskem centru.



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.



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 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. 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).

Današnje izpuste skladišča lahko primerjamo z ekshalacijo radona iz običajnega zemljišča velikosti 300 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

Skupni letni izpust radona v okolje v letu 2015 ocenjujemo na približno 0,2 GBq/leto, kar je enako kot smo ocenil v letih od 2011 do 2014.

Prispevek k povišanju koncentracije radona v okolici CSRAO zaradi izpustov smo ocenili z Gausovim 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 vzet 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 $0,36 \text{ Bq/m}^3$ nad ozadjem.

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust $6,4 \text{ Bq/s}$.

Oddaljenost od vira (m):	10	30	50	100
Disperzijski faktor $v \cdot \chi/Q$ razred D:	0,8	0,1	0,04	1,00E-02
χ – Koncentracija Radona (Bq/m^3)	5,16	0,64	0,26	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)	11,6	1,29	0,45	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 $6,4 \text{ Bq/s}$. 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 zunanega sevanja iz skladišča na razdalji 10 m od CSRAO nemerljiv. Na referenčni lokaciji je namreč letna doza zaradi zunanega sevanja višja kot na razdalji 10 m od skladišča (glej rezultate meritev TLD).

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

Tabela 3: Ocenjena letna efektivna doza za referenčno skupino

	Varnostnik - receptor	Okoliški kmet	Delavec IJS
Oddaljenost (m):	10	50	30
Radonovi potomci (μSv)	0,43	0,02	0,90
Zunanje sevanje (μSv)	0	0	0
Skupna efektivna doza (μSv)	0,43	0,02	0,90



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	RA15-VN1-11 30. 1. 2015
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	1,2E+00 ± 5,9E-01
K-40	2,5E+02 ± 2,4E+01
Cs-137	2,4E-01 ± 6,1E-02
Pb-210	<2,6E+00
Ra-226	7,9E+00 ± 1,1E+00
Ra-228	<1,1E+00
Th-228	2,1E-01 ± 9,3E-02

Oznaka vzorca	RA15-VN1-81 30. 8. 2015
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	1,9E+00 ± 1,5E-01
K-40	1,9E+02 ± 1,9E+01
Cs-137	3,0E-01 ± 1,4E-01
Pb-210	4,2E+00 ± 1,8E+00
Ra-226	<1,4E+00
Th-228	3,4E-01 ± 1,9E-02
U-238	3,3E+00 ± 1,4E+00



4.2.2 Zunanje sevanje

Tabela 5: Mesečne doze (mSv), izmerjene s TLD v okolici CSRAO od januarja do decembra 2015. Meritve je izvedel IJS.

Datum	Mesec	t1 - tovorna vrata	t2 - vrata strojnice	t3 - streha	t4 - 10m od vrat	t5 - 30m od vrat	t6 - 50m od vrat
9.1. - 6.2. 2015	Januar	0.083	0.048	0.078	0.063	0.068	0.068
6.2. - 9.3. 2015	Februar	0.097	0.051	0.078	0.067	0.074	0.080
9.3. - 8.4. 2015	Marec	0.108	0.051	0.083	0.065	0.080	0.079
8.4. - 11.5. 2015	April	0.107	0.054	0.092	0.069	0.083	0.088
11.5. - 8.6. 2015	Maj	0.089	0.049	0.081	0.058	0.071	0.078
8.6. - 6.7. 2015	Junij	0.100	0.050	0.082	0.069	0.084	0.079
6.7. - 5.8. 2015	Julij	0.098	0.047	0.085	0.074	0.105	0.077
5.8. - 7.9. 2015	Avgust	0.111	0.054	0.087	0.070	0.090	0.080
7.9. - 5.10. 2015	September	0.067	0.043	0.075	0.063	0.077	0.074
5.10. - 10.11. 2015	Oktober	0.079	0.051	0.092	0.082	0.085	0.085
10.11. - 7.12. 2015	November	0.062	0.040	0.076	0.055	0.064	0.068
7.12. - 11.1. 2016	December	0.091	0.057	0.098	0.077	0.095	0.096
Letna doza (mSv):		1.09	0.60	1.01	0.81	0.98	0.95

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.

2015	Koncentracija (Bq/m ³)							
	Lokacija	5.1. - 1.4.2015	Uteženo povprečje	1.4. - 1.7.2015	Uteženo povprečje	1.7. - 1.10.2015	Uteženo povprečje	1.10. - 4.1.2016
D1 - 10 m od vrat CSRAO	18,9 ± 4,7	18,9 ± 4,7	16,5 ± 3,7	15,1 ± 2,6	20,4 ± 4,5	21,1 ± 3,2	24,0 ± 6,0	23,5 ± 4,2
	73,9* ± 10,4		13,7 ± 3,7		21,8 ± 4,5		23,0 ± 6,0	
D2 - Ograja RC	15,2 ± 3,8	15,4 ± 2,7	15,6 ± 3,7	15,4 ± 2,6	23,1 ± 4,5	23,6 ± 3,2	23,0 ± 6,0	25,0 ± 4,2
	15,6 ± 3,8		15,1 ± 3,7		24,0 ± 4,5		27,0 ± 6,0	
D3 - Nad CSRAO	9,9 ± 3,8	12,3 ± 2,7	13,7 ± 3,7	14,7 ± 2,6	19,0 ± 4,5	19,7 ± 3,2	24,0 ± 6,0	25,5 ± 4,2
	14,7 ± 3,8		15,6 ± 3,7		20,4 ± 4,5		27,0 ± 6,0	

* Rezultat meritve je najverjetneje napačen, saj izrazito odstopa od normalne koncentracije, zaradi tega ga nismo upoštevali pri povprečevanju.



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-VRP1-41 Severna vrtina 4. 8. 2014	RA14-VRP2-41 Južna vrtina 4. 8. 2014
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ³)	Specifična aktivnost (Bq/m ³)
Be-7	4,0E+00 ± 2,0E+00	–
K-40	3,4E+01 ± 3,9E+00	3,1E+01 ± 3,2E+00
Cs-137	–	–
Pb-210	3,9E+00 ± 1,7E+00	1,8E+00 ± 1,2E+00
Ra-226	3,6E+00 ± 8,4E-01	–
Ra-228	1,8E+00 ± 4,4E-01	<2,5E+00
Th-228	1,4E+00 ± 3,0E-01	5,5E-01 ± 2,8E-01
U-238	5,3E+00 ± 1,9E+00	6,4E+00 ± 2,5E+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. 2015	3×3" NaI(Tl) – ARAO* 21. 9. 2015
Predpostavljena enakomerna porazdelitev	(Bq/kg)	
Be-7	19 ± 5	–
K-40	340 ± 50	428
Cs-137	33 ± 6	31
Ra-226	43 ± 7	48
Ra-228	34 ± 6	–
Th-228	36 ± 6	47**
Predpostavljena površinska porazdelitev	(Bq/m²)	
Be-7	600 ± 160	–
Cs-137	1140 ± 200	920

* ARAO ocenjuje, da je negotovost njihovih meritev okrog ±20 %

** 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:	RA15-PV1-M1 9. 1. 2015 – 11. 1. 2016
IZOTOP	Specifična aktivnost (Bq/m ²)
Be-7	7,8E+02 ± 5,1E+01
K-40	2,6E+00 ± 3,8E-01
Cs-137	2,1E-01 ± 2,4E-02
Pb-210	6,4E+01 ± 3,3E+00
Ra-226	7,5E-01 ± 2,8E-01
Ra-228	2,5E-01 ± 7,2E-02
Th-228	2,7E-01 ± 2,9E-02
U-238	3,5E-01 ± 1,7E-01



4.3 ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

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

VODA

- Aktivnost se navaja v enotah Bq/m^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: $H^*(10) = 1,2 \times K_a$. K_a je absorbirana doza v zraku, izražena z enoto Gy (Gray).

ZRAK

- Aktivnost radona brez podatkov o potomcih se podaja v " Bq/m^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 National Physical Laboratory (NPL), Teddington, Združeno kraljestvo

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY COMPARISON EXERCISE 2014 – GL – kontaminirana vodna raztopina ter GS – kontrolirana kontaminirani trdni vzorec (steklo)

V letu 2014 je NPL, National Physical Laboratory iz Združenega kraljestva priredil primerjalne meritve, kjer je IJS, Odsek F-2, določil vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama v vzorcu umetno kontaminirane vode z nizko aktivnostjo (GL) in v vzorcu stekla (GS). Končni rezultati so bili objavljeni junija 2015 [Julian Dean, Sean Collins and Selina Woods, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2014, NPL Report IR 34, junij 2015].

V naslednjih 2 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 21 za Odsek F-2) ter primerjave z referenčnimi vrednostmi NPL za umetne in naravne radionuklide v vzorcih kontaminirane vode in stekla.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

NPL – GL / Lab Code 21 kontaminirana vodna raztopina s sevalci gama nizkih aktivnosti analize IJS opravljene <i>decembra 2014</i> , končni rezultati objavljeni <i>junija 2015</i>					
IZOTOP	NPL	IJS	odmik (%)	Zeta	Zeta-score
	(Bq/kg)				
Co-60	12,49 ± 0,062	12,33 ± 0,37	-1,3	-0,43	-0,22
Cs-137	2,259 ± 0,020	2,270 ± 0,080	0,5	0,13	0,08
Eu-152	20,00 ± 0,15	19,54 ± 0,59	-2,3	-0,76	-0,39
Am-241	1,8124 ± 0,0039	1,88 ± 0,11	3,7	0,61	0,64

NPL – GS / Lab Code 21 steklo kontaminirano s sevalci gama nizkih aktivnosti analize IJS opravljene <i>decembra 2014</i> , končni rezultati objavljeni <i>junija 2015</i>					
IZOTOP	NPL	IJS	odmik (%)	Zeta	Zeta-score
	(Bq/kg)				
Co-60	1,470 ± 0,017	1,460 ± 0,050	-0,7	-0,19	-0,12
Eu-152	0,769 ± 0,012	0,78 ± 0,03	1,4	0,34	0,25
Am-241	2,40 ± 0,20	2,13 ± 0,07	-11,3	-1,27	-1,93



4.5.2 IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Avstrija

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of natural and artificial radionuclides in water, brown rice and soil samples, IAEA-TEL-2015-04

V maju 2015 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 3 vzorce umetno kontaminirane vode, vzorec rjavega riža in dva vzorca zemlje za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli decembra 2015 [S. Tarjan, Individual Evaluation Report for Laboratory No. 34 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2015-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, Seibersdorf, december 2015].

V naslednjih 5 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS v 2 vzorcih vod, vzorcu rjavega riža in dveh vzorcih zemlje (Odsek F-2 je imel kodo laboratorija 34). Prikazane so primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA za umetne radionuklide v dveh 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-2015-04						
Sample 1, Spiked Water						
analize IJS opravljene <i>maja 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>decembra 2015</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 34	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	30 ± 0,9	28,9 ± 0,9	-3,67	-0,86	-0,61	A
Cs-137	30,1 ± 0,9	29,9 ± 0,9	-0,66	-0,16	-0,20	A

IAEA-TEL-2015-04						
Sample 2, Spiked Water						
analize IJS opravljene <i>maja 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>decembra 2015</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 34	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Na-22	65,1 ± 1,5	51,7 ± 1,6	-20,58	-6,11	-2,98	N
Zn-65	177,3 ± 5,7	164,4 ± 4,9	-7,28	-1,72	-1,43	A



IAEA-TEL-2015-04 Sample 4, Brown Rice analize IJS opravljene <i>maja 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>decembra 2015</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 34	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	12 ± 0,4	12,9 ± 0,4	7,50	1,59	0,75	A
Cs-137	38,6 ± 0,9	41,4 ± 1,2	7,25	1,87	1,12	A
K-40	72,1 ± 3,5	79,1 ± 3,5	9,71	1,41	0,78	A

IAEA-TEL-2015-04 Sample 5, Soil analize IJS opravljene <i>avgusta 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>decembra 2015</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 34	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-137	715 ± 30	678 ± 20	-5,17	-1,03	-1,00	A
K-40	190 ± 16,8	174 ± 7	-8,42	-0,88	-0,95	A
Pb-210	236 ± 44	221 ± 8	-6,36	-0,34	-0,34	A
Pb-212	49 ± 5,2	48,4 ± 1,5	-1,22	-0,11	-0,12	A
Pb-214	46,5 ± 5,1	48,4 ± 1,5	4,09	0,36	0,37	A
Bi-214	46,5 ± 4	48,2 ± 1,4	3,66	0,40	0,43	A
Ra-226	50 ± 9,3	63 ± 5	26,00	1,23	1,40	A
Ra-228	49 ± 2,5	48,3 ± 1,5	-1,43	-0,24	-0,28	A
Tl-208	17,4 ± 1,9	17,0 ± 0,5	-2,30	-0,20	-0,28	A
U-238	46,4 ± 2,5	38,6 ± 3,0	-16,81	-2,00	-1,77	A

IAEA-TEL-2015-04 Sample 6, Soil analize IJS opravljene <i>avgusta 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>decembra 2015</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 34	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
U-238	27 ± 1,4	23 ± 2	-14,81	-1,64	-0,77	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), 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

- 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-05/05* 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-14/09* Meritve in situ s prenosnim spektrometrom gama

Kontrolni postopki

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

Računski postopki

- LMR-RP-01/02* 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)