

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



POROČILO ZA LETO 2024

Interna oznaka poročila: 1/25-N
Leto izdaje: 2025 Revizija: 00

	Ime in priimek	Podpis in datum
Izdelala	dr. Tinkara Bučar	
Pregledala	Tanja Murn, mag. prof. pouč. biol. in kem.	
	Mitja Eržen, univ. dipl. fiz.	
Odobril	prof. dr. Boštjan Zalar, direktor IJS	

Mnenje neodvisnega pooblaščenega izvedenca

Z ugotovitvami poročila, ki ga je pripravila Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem na IJS, se v celoti strinjam.

	Ime in priimek	Podpis in datum
Pooblaščen izvedenec	dr. Marko Giacomelli	

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





Naročnik Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS)

Izvajalec del: Inštitut "Jožef Stefan" – Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS)

Naslov poročila: MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS, POROČILO ZA LETO 2024

Pogodbena številka: -

Odgovorni nosilec naloge: dr. Tinkara Bučar

Avtorji poročila: Tinkara Bučar, Tanja Murn, Mitja Eržen

Izvajalci meritev: Tanja Murn, Tinkara Bučar, Mitja Eržen

Štev.del.por. IJS: IJS-DP-14866

Kopije: Arhiv SVPIS
RIC
URSJV
URSVS
Knjižnica IJS

Slika na naslovni strani: Pogled na reaktorsko zgradbo z zahoda, foto: L. Bučar



UPORABLJENI IZRAZI

ARSO	Agencija RS za okolje
ELME	Ekološki laboratorij z mobilno enoto
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICJT	Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo
IJS	Institut "Jožef Stefan"
MDA	Spodnja meja detekcije
MFM	Multifunkcijski monitor radioaktivnega gama sevanja
O-2	Odsek za znanosti o okolju
OVC	Objekt vroča celica
RC	Reaktorski center
RIC	Reaktorski infrastrukturni center
SVPIS	Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem
TLD	Termoluminiscenčna dozimetrija
TRIGA	Training Research Isotope Production General Atomics
URSJV	Uprava RS za jedrsko varnost
URSVS	Uprava RS za varstvo pred sevanji
VLG	Visokoločljivostna Spektrometrija Gama
ZVD	Zavod za varstvo pri delu, d. o. o.



VSEBINA

1	UVOD	6
2	VZORČEVALNE LOKACIJE	7
3	OVREDNOTENJE MERITEV	8
3.1	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN	8
3.2	MERITVE IZPUSTOV	8
3.3	MERITVE V OKOLJU.....	13
4	OCENA VPLIVOV	18
4.1	OCENA EFEKTIVNE DOZE ZARADI TEKOČINSKIH IZPUSTOV	18
4.2	OCENA EFEKTIVNE DOZE ZARADI ZRAČNIH IZPUSTOV	18
5	MERSKI REZULTATI.....	21
5.1	PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA	21
5.2	PREGLED TABEL	23
5.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN	32
5.4	MERSKE METODE	32
5.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO	33
5.6	PRIMERJALNE MERITVE	33
5.7	NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA.....	35
6	REFERENČNA DOKUMENTACIJA	36



Povzetek

V poročilu so ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v okolici Reaktorskega centra. Na podlagi meritev in z uporabo modela je ocenjen vpliv na prebivalstvo.

V letu 2024 so bili zračni izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 0,8 TBq, kar je primerljivo s prejšnjimi leti (0,8 TBq v 2023). Na podlagi konzervativnih predpostavk je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja na prebivalca v okolici Reaktorskega centra zaradi zračnih izpustov ocenjena na manj kot 1 μSv , kar je enako kot v preteklih letih.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila za leto 2024 konzervativno ocenjena na manj kot 0,01 μSv , kar je primerljivo z oceno v letu 2023.

Sevalna izpostavitve prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega centra je zanemarljiva v primerjavi z neizogibno izpostavitvijo naravnemu sevanju v običajnem okolju (6,0 mSv na leto [19]). Predstavlja približno 1/100 avtorizirane dozne omejitve za prebivalstvo, ki znaša 50 μSv na leto.



1 Uvod

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2024 opravljene po Programu varstva pred ionizirajočim sevanjem v okolici Rektorskega centra IJS. Program je opredeljen v *Varnostnem poročilu za TRIGA Mark II v Podgorici, revizija 7, 2017* (IJS-DP-10675), [3]. Program je skladen s trenutno veljavnim *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* (JV10, Ur. l. RS 27/18, Priloga 5: Zasnova programa obratovalnega monitoringa radioaktivnosti raziskovalnega reaktorja), [11]. Avtorizirana mejna doza za referenčno osebo (okoliško prebivalstvo) iz odločbe Uprave RS za jedrsko varnost št. 318-46/90-1842/ML z dne 3. 7. 1992 je za Rektorski center 50 μSv na leto.

V letu 2024 je na rektorskem centru potekala raziskovalna dejavnost, ki je vključevala obsevanje vzorcev v reaktorju ter rutinsko delo z radioaktivnimi snovmi in obsevanimi vzorci. Delo ni bistveno odstopalo od dejavnosti iz preteklih let. Reaktor je glede na dnevnik obratovanja obratoval 601 uro, kar je primerljivo s povprečnim časom obratovanja v zadnjih nekaj letih.

Program obratovalnega monitoringa je podrobneje predstavljen v poglavju 5.1. tega poročila. Temelji na dejavnostih Instituta "Jožef Stefan" in ne vključuje dodatnih meritev, ki se izvajajo za nadzor prehodnega skladišča radioaktivnih odpadkov Agencije za radioaktivne odpadke. Nadzorne meritve sestavljajo trije sklopi: meritve **reaktorskih tekočin**, meritve izpustov (**emisije**) in meritve v okolju (**imisije**).

V okviru nadzora **reaktorskih tekočin** izvajamo meritve vzorcev vode iz bazena reaktorja (primarna voda), iz sekundarnega kroga reaktorja ter iz bazena za iztrošene gorivne elemente. Z meritvami aktivnosti tekočin se posredno izvaja nadzor nad puščanjem gorivnih elementov, nad učinkovitostjo filtriranja vode in nad puščanjem med primarnim in sekundarnim krogom. Meritve rektorskih tekočin so ovrednotene v poglavju 3.1.

Z meritvami **emisij** ocenjujemo prispevek dejavnosti na Rektorskem centru k izpostavitvi prebivalstva sevanju. Zaradi nemerljivih vplivov v okolju je ocena izpostavitve narejena na podlagi emisijskih vrednosti in z uporabo modelov razširjanja radioaktivnih snovi po zračni in tekočinski prenosni poti. Izpusti so ovrednoteni v poglavju 3.2, vplivi izpustov na prebivalstvo pa so ocenjeni v poglavju 4.

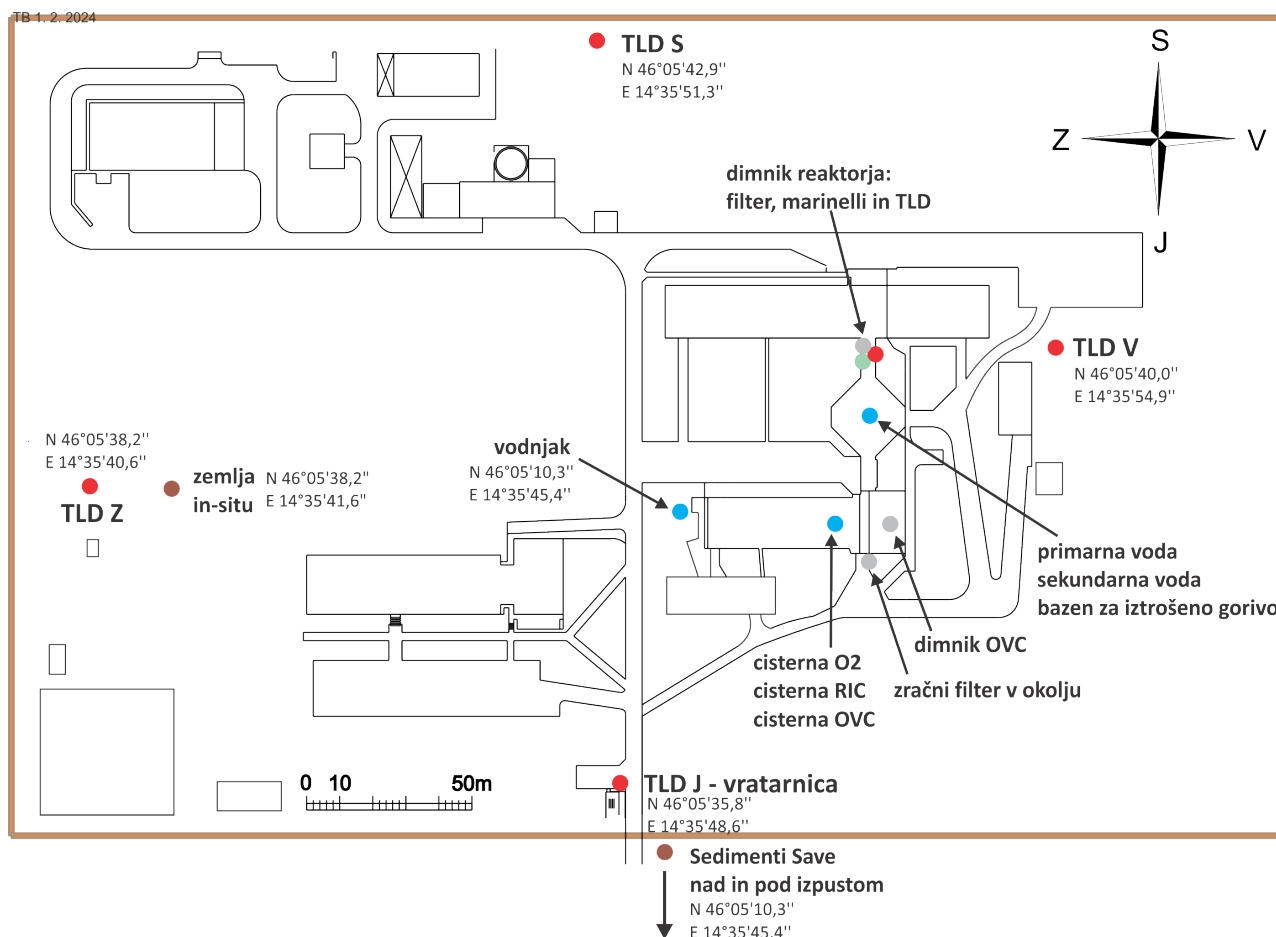
Meritve **imisij** omogočajo splošno oceno stanja radioaktivnosti na območju Rektorskega centra, oceno morebitnih vplivov obratovanja reaktorja in drugih objektov znotraj centra, pa tudi vplive dogodkov zunaj centra, kot je bila npr. černobilska nesreča. Redne meritve imisij dajejo osnovno sliko o ničelnem stanju nekaterih radioloških parametrov na območju Rektorskega centra in v bližnji okolici. Nadzor vsebuje tudi meritve za primer izrednega dogodka (kontaminacija zemlje in zraka), ki služijo za vzdrževanje pripravljenosti sodelavcev in opreme SVPIŠ. Meritve v okolju so ovrednotene v poglavju 3.3.

Merski rezultati in uporabljene merske enote so predstavljeni v poglavjih 5.2. in 5.3. Za nadzorne meritve se uporabljajo tri merske metode: visokoločljivostna spektrometrija gama, meritve hitrosti doze in termoluminiscenčna dozimetrija. Opisane so v poglavju 5.4. Usposobljenost laboratorija za izvajanje nadzornih meritev potrjujemo s primerjalnimi meritvami (poglavje 5.6) in z neodvisnim nadzorom obratovalnega monitoringa (poglavje 5.7).



2 Vzorčevalne lokacije

Vzorčenje za vse tri sklope nadzornih meritev poteka skladno s postopkom *Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva Reaktorskega centra na okolje* (SVPIS-R-DN-31), [4]. Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1. Večina vzorčevalnih mest je znotraj ograje Reaktorskega centra. Vzorčenje zemlje in in-situ spektrometrijo gama smo tudi letos opravili na travniku zahodno od reaktorja, vzorčenje savskega sedimenta pa se izvaja izven ograje Reaktorskega centra ob izpustnem kanalu tekočinskih odpadkov v reko Savo.



Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Reaktorskem centru v letu 2024



3 Ovrednotenje meritev

3.1 Meritve reaktorskih tekočin

V okviru nadzora reaktorskih tekočin izvajamo meritve vzorcev (VLG spektrometrija) vode iz bazena reaktorja (primarna voda), iz sekundarnega kroga reaktorja (sekundarna voda) ter iz bazena za iztrošene gorivne elemente. Z meritvami aktivnosti tekočin se posredno izvaja nadzor nad puščanjem gorivnih elementov, nad učinkovitostjo filtriranja vode in nad puščanjem med primarnim in sekundarnim krogom.

3.1.1 Primarna voda

Primarna voda se vzorčuje enkrat na teden, običajno nekaj dni po zaustavitvi reaktorja. Rezultati meritev so v tabeli M13. Skupna specifična aktivnost sevalcev gama je nekaj dni po zaustavitvi reaktorja okrog 100 kBq/m^3 . K njej prispevajo aktivacijski produkti. V letu 2024 smo v primarni vodi zaznali Na-24, Mg-27, Ar-41, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-58, Co-60, Tc-99m, Sb-122 in W-187. Njihove koncentracije so za primarno vodo običajne. Višje aktivnosti Ar-41 in Na-24 so v vodi merljive le med obratovanjem reaktorja oziroma takoj po njegovi zaustavitvi. V letu 2024 nismo zaznali fisijskih produktov, kar kaže na to, da gorivni elementi niso poškodovani.

3.1.2 Sekundarna voda

Vzorčenje sekundarne vode poteka enkrat na mesec med obratovanjem reaktorja. Rezultati meritev so v tabeli M14. V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid, iz česar sklepamo, da ni puščanja med primarnim in sekundarnim krogom.

3.1.3 Voda iz bazena za iztrošene gorivne elemente

Vzorčenje vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente poteka enkrat mesečno. Rezultati meritev so v tabeli M15. V letu 2024 v vzorcih vode nismo zaznali prisotnost umetnih radionuklidov. V bazenu od leta 2001 ni več izrabljenih gorivnih elementov, so bili pa v letu 2018 in 2019 v bazenu za iztrošene gorivne elemente občasno shranjeni aktivnejši obsevani vzorci, tako da se še lahko občasno pojavijo posamezni umetni radionuklidi kot posledica pretekle kontaminacije ali kontaminacije zaradi shranjenih vzorcev.

3.2 Meritve izpustov

Z meritvami izpustov ocenjujemo izpostavljenost prebivalstva sevanju zaradi dejavnosti na Reaktorskem centru. Program spremljanja emisij temelji na meritvah tekočinskih in zračnih izpustov ter zunanjega sevanja na izpustnih mestih.

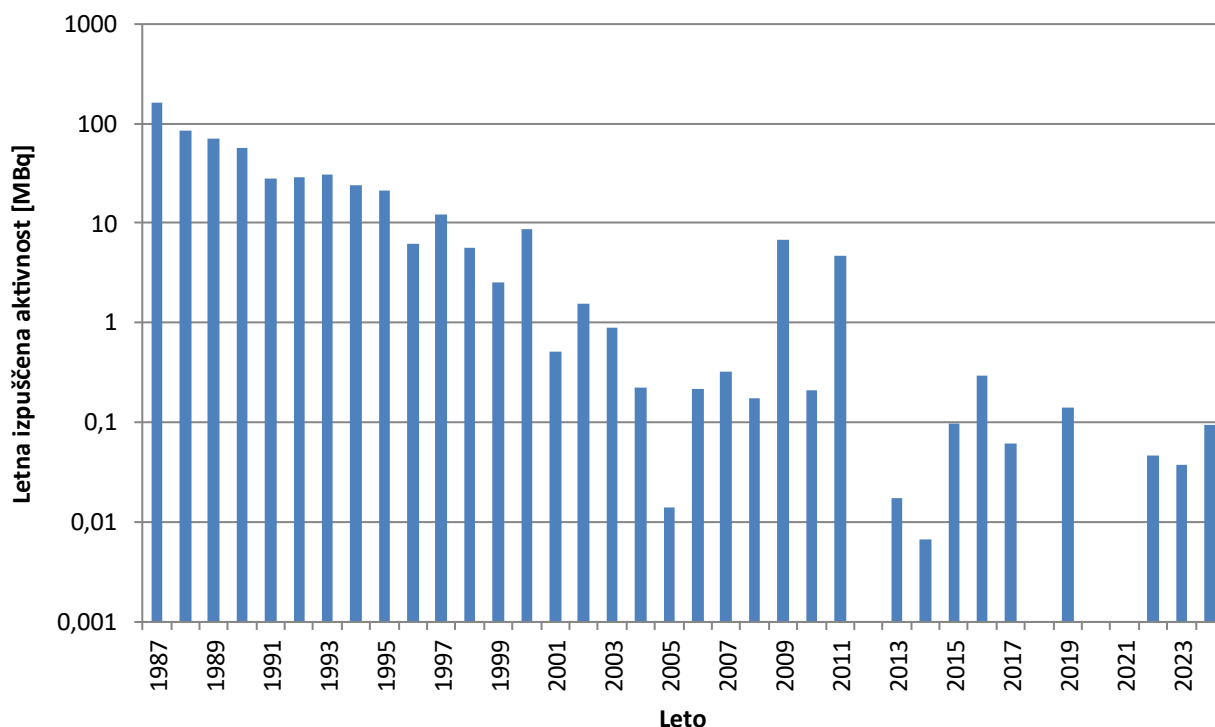
3.2.1 Tekočinski izpusti

V izpustni kanal se iztekajo drenažne tekočine Odseka za znanosti o okolju (O-2), reaktorja in vročih celic (OVC). Drenažne tekočine Odseka O-2 v reko Savo izpuščamo običajno ob ponedeljkih in drenažne tekočine reaktorja enkrat na mesec, če je v cisternah dovolj tekočine. Zadrževalna cisterna drenaže vročih celic je bila v zadnjih dvajsetih letih suha, zato ni bilo meritev in izpustov v okolje.

V preteklih letih so bile radioaktivne snovi v nizkih koncentracijah običajno prisotne le v tekočinah iz zadrževalne cisterne Odseka za znanosti o okolju (O-2), v drenažnih tekočinah reaktorja pa le



redko. Občasno so se pojavljali v zelo nizkih koncentracijah radionuklidi Na-24, Mn-54, Co-60, Zn-65, Ag-110m, Sb-125, Cs-137, Eu-152/154, Hg-197 in Am-241.



Slika 2: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2024

V letu 2024 smo v cisterni O-2 zaznali Co-60 in Cs-137 (tabela M1). Vse vrednosti so blizu meje detekcije, okoli 1 Bq/kg. Skupna izpuščena aktivnost za to leto je bila 94 kBq (tabela 2 in slika 2). Cisterna reaktorja je bila v letu 2024 izčrpana trikrat, v njej pa nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov (tabela M2). Cisterna drenaže OVC je bila tudi v letu 2024 celo leto suha.

3.2.2 Zračni izpusti

Pri zračni prenosni poti je najpomembnejše izpuščanje Ar-41 iz prezračevalnega sistema reaktorja. Med obratovanjem reaktorja v votlih delih ob sredici (obsevalni kanali) iz naravnega argona Ar-40 v zraku z aktivacijo nastaja radioaktivni Ar-41, ki ima kratko razpolovno dobo (1,83 ure). Takoj po zagonu reaktorja začne koncentracija argona počasi naraščati in doseže maksimalno ravnovesno vrednost približno dve uri po zagonu. Aktivnost nastalega argona je potem sorazmerna z obratovalno močjo reaktorja. Ventilacijski sistem ga sproti izpihava v okolje. Argon vzorčujemo v dimniku reaktorja enkrat mesečno, tako da odvezamo trenutni plinski vzorec (marinelli). Vzorec vzamemo pri obratovanju reaktorja na največji moči.

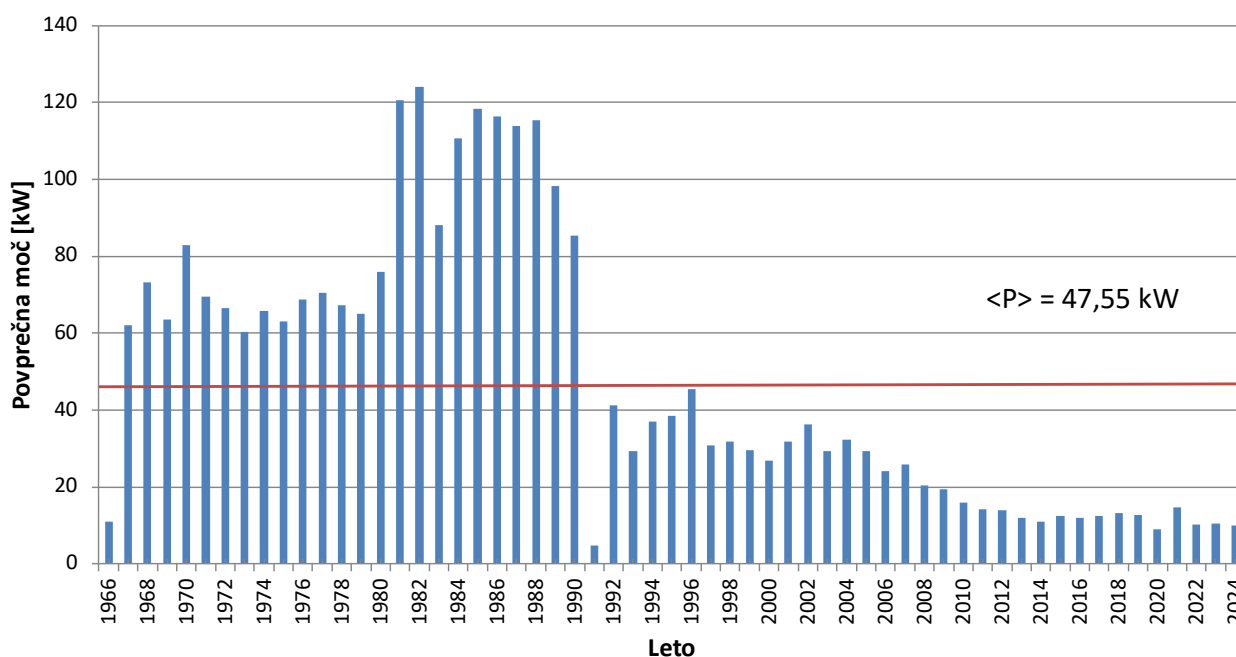
Vsebnosti Ar-41 v dimniku reaktorja so v tabeli M3. Aktivnost argona v dimniku je odvisna od postavitve eksperimentalne opreme v eksperimentalnih kanalih, od delovanja argonskega ventilacijskega sistema, ki izsesava argon neposredno iz votlih delov ob sredici, ter od delovanja sistema prezračevanja reaktorske hale, s katero je reguliran pretok zraka v dimniku.

Od obnove ventilacijskega sistema leta 2010 dalje smo ocenili povprečni pretok zraka v dimniku na okoli 5 m³/s. Povprečni pretok med mesečnimi vzorčenji plinskega vzorca zraka za leto 2024 je bil ~4 m³/s.



Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2024 je bila 164 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila izmerjena v januarju 175 kBq/m³. Tako povprečna kot maksimalna vrednost sta primerljivi z meritvami v lanskem letu (166 kBq/m³ povprečna in 180 kBq/m³ maksimalna vrednost).

Iz povprečne izmerjene koncentracije aktivnosti in pretoka izračunamo hitrost izpuščanja 0,60 MBq/s pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2024 je bila 10,1 kW (slika 3) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) 25 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 0,8 TBq (0,8 TBq v 2023 in 2022, 1,1 TBq v 2021, in 0,7 TBq v 2020).



Slika 3: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2024, <P> je povprečje za celotno življenjsko obdobje reaktorja TRIGE

V tangencialnih kanalih reaktorja se skupaj s spremembami eksperimentalne opreme v kanalih spreminja tudi količina zraka v votlinah ob sredici reaktorja. S povečanjem količine razpoložljivega zraka se poveča tudi povprečna koncentracija Ar-41 v dimniku reaktorja. Leta 2015 se je povečala zaradi predelave tangencialnega kanala 6 in leta 2019 zaradi predelave tangencialnega kanala 5. Tako so koncentracije Ar-41 narastle s 100 kBq/m³ na okoli 170 kBq/m³. Argonski sistem namreč izčrpa zrak iz votlin neposredno iz sredice in njene okolice (pnevmatska pošta, eksperimentalni kanali, suha celica) v dimnik reaktorja. Ob nadaljnjih spremembah eksperimentalne opreme lahko pričakujemo, da se bo aktivnost argona v dimniku ustrezno spreminjala.

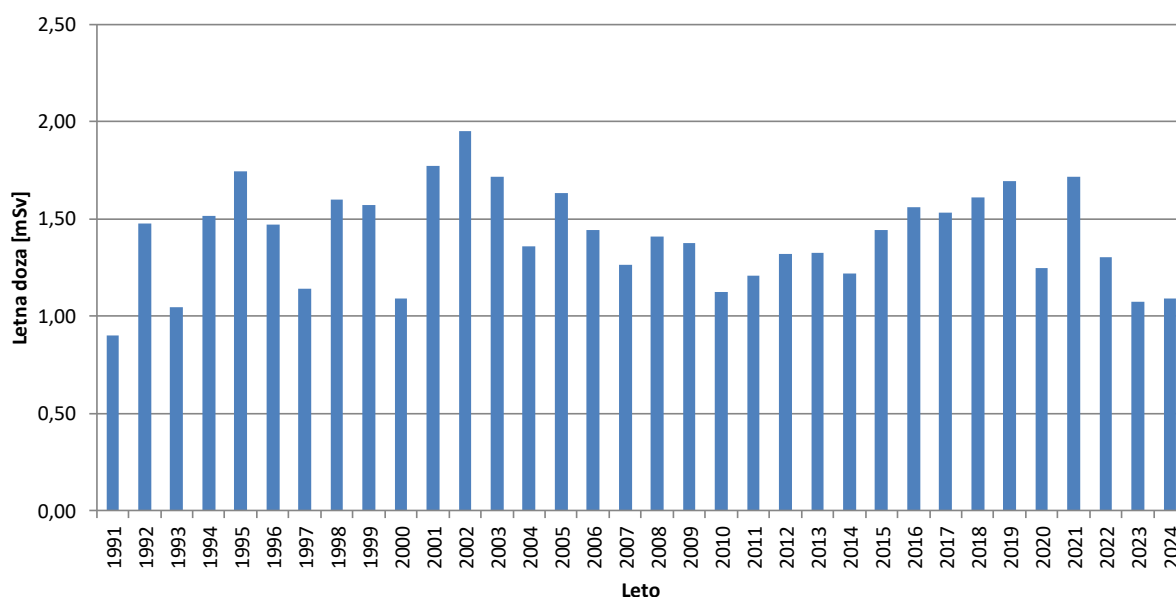
Na samem izpustnem mestu z zračno črpalko lovimo tudi zračne delce na filtre. Filtre menjamo dvakrat tedensko. Količina prečrpanega zraka preko vsakega filtra je okoli 240 m³. Na enak način vzorčimo zračne delce tudi na izpuhu iz OVC. Rezultati meritev zračnih filtrov v dimniku reaktorja in v vročih celicah so zbrani v tabelah M4 in M5. Na filterjih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2024 zaznali prisotnost Na-24 z največjo izmerjeno aktivnostjo 3,6 Bq na filter ter največjo izmerjeno koncentracijo aktivnosti 0,02 Bq/m³. Prisotnosti drugih umetnih radionuklidov nismo zaznali, vendar jih v prihodnosti lahko še kdaj občasno pričakujemo. Zaradi morebitne poškodbe obsevanih vzorcev lahko v obsevalnih kanalih ostanejo sledovi vzorca, ki se



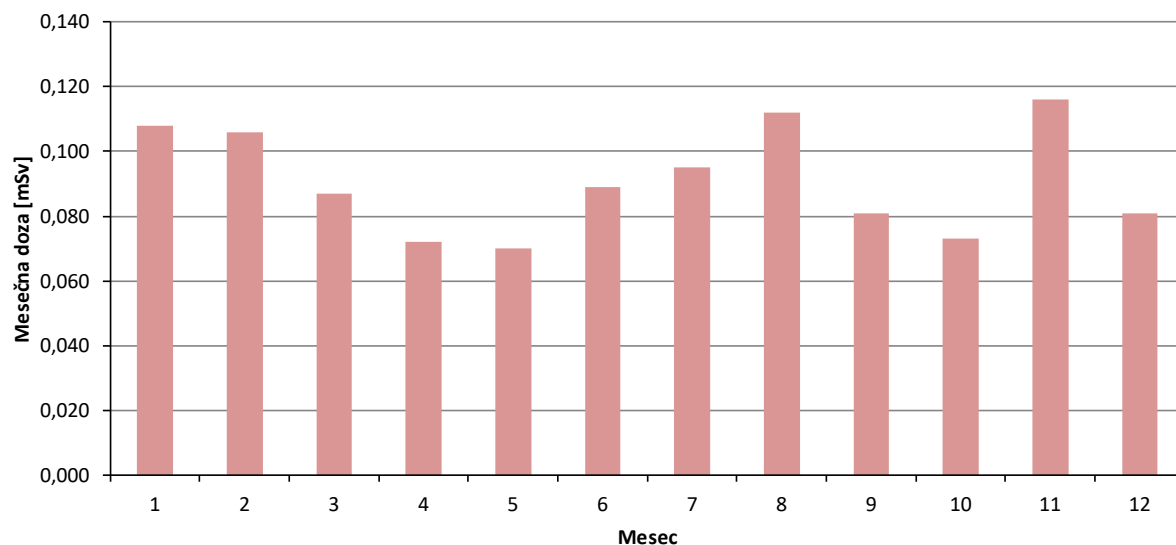
med obratovanjem reaktorja aktivirajo in jih zato zaznamo na zračnih filtrih. V zračnih filtrih bi zaznali tudi morebitno puščanje gorivnih elementov.

V dimniku reaktorja je nameščen TLD, katerega doza je korelirana s trajanjem in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega polurni odčitki so predstavljeni na sliki 6.

Meritve zunanje sevanja s TLD v dimniku reaktorja (izpuh reaktorja TRIGA), ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2024 prikazane na sliki 4. Vrednosti segajo od doz, primeljivih s sevanjem naravnega ozadja (0,9 mSv za leto 1991), do dvakratnega ozadja (skoraj 2 mSv za leto 2002) in so odvisne od obratovanja reaktorja; povezane so s številom obratovalnih ur ter z močjo reaktorja. Za leto 2024 je bila skupna letna doza TLD 1,1 mSv in je na sliki 5 razčlenjena po posameznih mesecih.



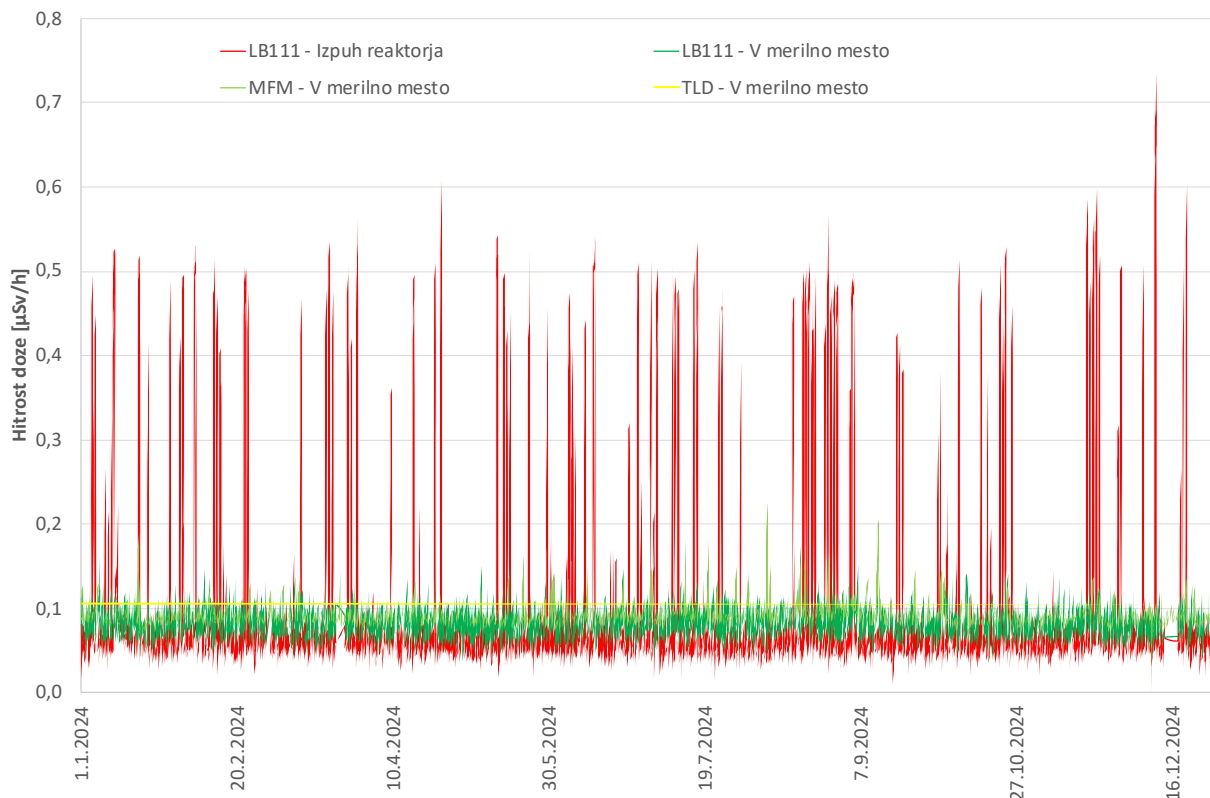
Slika 4: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2024



Slika 5: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2024 (Oznaka 1.7D)



Rezultati meritev hitrosti doze s kontinuirnim merilnikom Berthold LB111 na izpuhu reaktorja iz reaktorske hale so na sliki 6 primerjani z meritvami hitrosti doze v okolju, z merilnikoma LB111 in MFM na vzhodni kontrolni točki.



Slika 6: Meritve za leto 2024: hitrost doze na izpuhu reaktorja – kontinuirni merilnik Berthold LB111 (rdeča, Oznaka: 1.6HD), na vzhodni kontrolni točki – kontinuirna merilnika Berthold LB111 (temno zelena) in merilnik MFM (svetlo zelena, Oznaka: 2.5HD) ter letno povprečje vzhodne kontrolne točke – TLD (rumena, Oznaka: 2.6HD)

Izstopajo sledeče značilnosti:

- Do opaznih povečanj zunanje sevanja (okoli $0,5 \mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzroča žlahtni plin Ar-41.
- Rahla povečanja zunanje sevanja na vzhodni kontrolni točki se pojavljajo ob padavinah, ki iz ozračja izperejo kratkožive radonove potomce. Pojav je naraven in ni povezan z obratovanjem reaktorja.
- S slike 6 je razvidno, da je hitrost doze zunanje sevanje, kadar reaktor ne obratuje, na izpuhu reaktorja nižja (okoli $0,05 \mu\text{Sv/h}$) kot na vzhodni kontrolni točki (okoli $0,1 \mu\text{Sv/h}$). Merilnik na travniku je namreč izpostavljen višjemu naravnemu sevanju kot tisti na izpuhu, ki je pred naravnim sevanjem zaščiten z zgradbo.
- V letu 2024 je dvakrat za kratek čas prišlo do prekinitve zajemanja podatkov LB111 merilnikov v okolju in na dimniku reaktorja (marca in decembra).
- Od leta 2015 se je zaradi spremembe eksperimentalne postavitve v reaktorju povprečna hitrost doze na izpuhu reaktorja pri delovanju reaktorja na polni moči povišala s približno $0,35 \mu\text{Sv/h}$ na okrog $0,5 \mu\text{Sv/h}$.



3.3 Meritve v okolju

Meritve v okolju omogočajo splošno oceno stanja radioaktivnosti na območju Reaktorskega centra, oceno morebitnih vplivov obratovanja reaktorja in drugih objektov znotraj centra, kot tudi vplive dogodkov zunaj Reaktorskega centra, npr. černobilske nesreče. Meritve v okolju so običajno pod mejo detekcije in nam dajo predvsem osnovno sliko o ničelnem stanju nekaterih radioloških parametrov na območju Reaktorskega centra in v bližnji okolici. Program obratovalnega monitoringa vsebuje tudi meritve za primer izrednega dogodka (kontaminacija zemlje in zraka), ki služijo za vzdrževanje pripravljenosti sodelavcev SVPIŠ.

3.3.1 Voda iz vodnjaka

Vzorčenje vode iz vodnjaka poteka v neposredni bližini stavbe odseka O-2 (slika 1). Poleg rednih mesečnih meritev vzorcev vode iz vodnjaka so v letu 2024 vodo dvakrat vzorčili in merili tudi sodelavci IJS odseka F2. Rezultati meritev so v tabeli M7. V vzorcih nismo zaznali prisotnosti radionuklidov, ki bi lahko bili posledica delovanja reaktorja. Aktivnosti umetnih radionuklidov v vseh izmerjenih vzorcih so bile pod detekcijsko mejo. Aktivnosti naravnih radionuklidov so običajne za naravno okolje.

Zaradi nemerljivega vpiva reaktorja na okolje po tej prenosni poti v dogovoru z URSJV v prihodnjem letu načrtujemo zmanjšanje frekvence vode iz vodnjaka, skladno s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti.

3.3.2 Sedimenti Save

Meritve vzorcev sedimenta reke Save (tabela M8) z lokacij nad izpustom in pod njim kažejo prisotnost naravnih radionuklidov v običajnih koncentracijah za sedimente. V teh vzorcih so bile v letu 2024 izmerjene koncentracije Cs-137 0,5 Bq/kg nad in 0,6 Bq/kg pod izpustom. Obe vrednosti sta na meji detekcije in se v okviru statistične negotovosti ne razlikujeta. Koncentracije Cs-137, ki je posledica kontaminacije širšega okolja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij in černobilske nesreče, so v sedimentih zaradi izpiranja nižje kot v zemlji, kjer običajno znašajo nekaj deset Bq/kg. Primerjava vsebnosti umetnih radionuklidov v sedimentih nad izpustom in pod izpustom kažejo, da je meritev Cs-137 pod izpustom v okviru merilne negotovosti in mikrolokacije vzorčenja primerljiva z meritvijo nad izpustom. Meritve sedimentov potrjujejo pričakovanja iz meritev izpustov reaktorskih tekočin (tabela M1 in M2), v katerih smo v letu 2024 nekajkrat zaznali prisotnost umetnih radionuklidov blizu meje detekcije, da zaradi izpustov z reaktorskega centra ni prišlo do povišanih vrednosti umetnih radionuklidov v sedimentih reke Save.

3.3.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku zahodno od reaktorja (slika 7), v bližini meteorološke postaje (tabela M9), poleg lokacije In-Situ meritev (VLG spektrometrija zemljišča). Vzorčenje smo izvedli s "corerjem" in naredili analizo za dve globini. Vsebnosti naravnih radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost Cs-137 v zgornji plasti (0-10 cm) 34 Bq/kg je primerljiva z običajnimi vrednostmi za zemlje zaradi globalne kontaminacije (okoli 50 Bq/kg). V okolici meteorološke postaje, neposredno ob dozimetru na zahodni kontrolni točki, so bile v preteklosti izmerjene tudi najvišje vrednosti Cs-137 v zgornji plasti zemlje. Izmerjena aktivnost leta 2012 je bila 111 Bq/kg. V letu 2024 je vrednosti cezija za spodnjo plast (10-20 cm, 27 Bq/kg) nekoliko nižja kot za zgornjo plast. Zaradi časovne oddaljenosti globalne kontaminacije in naravnih procesov ni več

opaziti izrazite sistematske porazdelitve aktivnosti cezija po globini zemlje do 20 cm. Zaradi razpolovne dobe in izpiranja v globlje plasti se aktivnost cezija v splošnem postopoma zmanjšuje.



Slika 7: In-Situ meritev in vzorčenje zemlje Z od reaktorja, 6. 11. 2024

3.3.4 Zunanje sevanje

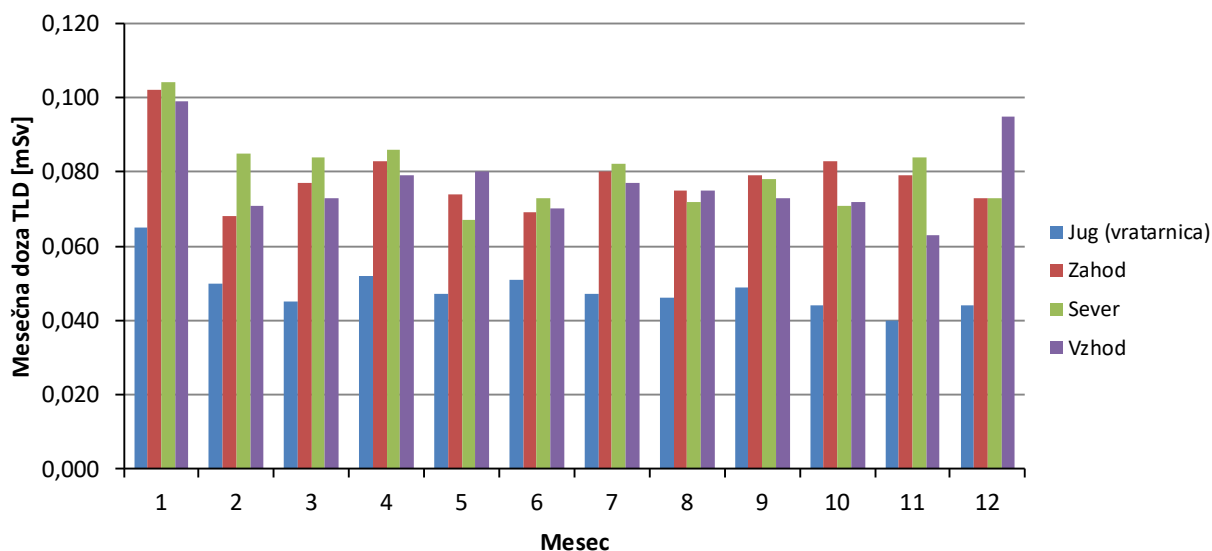
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Prvi dozimeter TLD je bil uveden leta 1991 na zahodni strani reaktorskega centra ob meteorološki postaji (TLD-zahod). Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba (tabela 1). Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih.

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

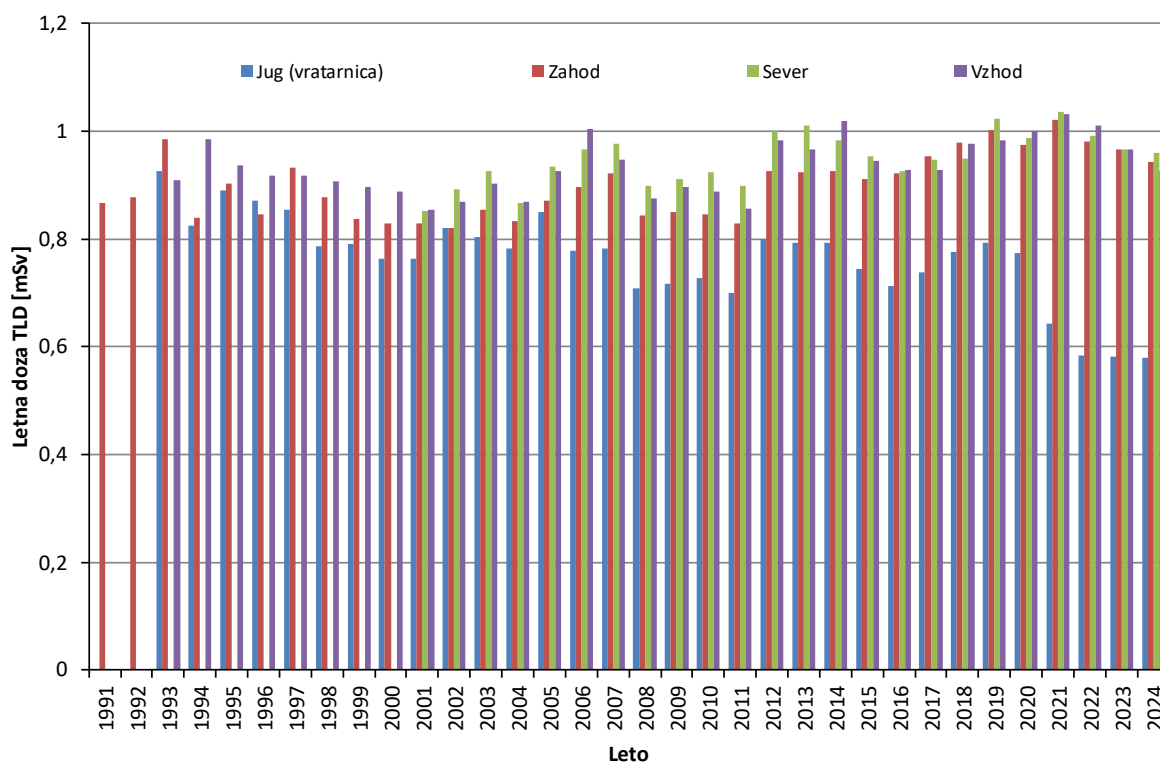
Oznaka	Mesto	Opomba
TLD-jug	vratarnica	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	poleg kontinuirnega merilnika URSJV
TLD-sever	ograja	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	v bližini reaktorja in skladišča RAO	poleg kontinuirnega merilnika okolje

Na vzhodnem merilnem mestu (TLD-vzhod) poteka tudi kontinuirna meritev hitrosti doze. V zadnjih dveh letih smo z merilnika Berthold LB111 prešli na rezultate merilnika MFM (sonda A 452), vendar zaenkrat spremljamo še oba.

Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2024 so na sliki 8 ter v tabeli M10 in letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev na sliki 9. Večina vrednosti je na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,08 mSv/mesec oziroma 1 mSv/leto). Razlike med posameznimi točkami so zanemarljive, nekoliko izstopa le dozimeter na južni strani reaktorskega centra. Ker je dozimeter postavljen ob vratarnici, kjer je okolica asfaltirana, so njegove vrednosti vedno nekoliko nižje od ostalih dozimetrov, ki so postavljeni nad zemljo.



Slika 8: Mesečne doze TLD na merilnih mestih v letu 2024 (Oznaka 2.6D – 2.9D)



Slika 9: Letne doze TLD na merilnih mestih v obdobju 1991 – 2024

3.3.5 Vzdrževanje pripravljenosti

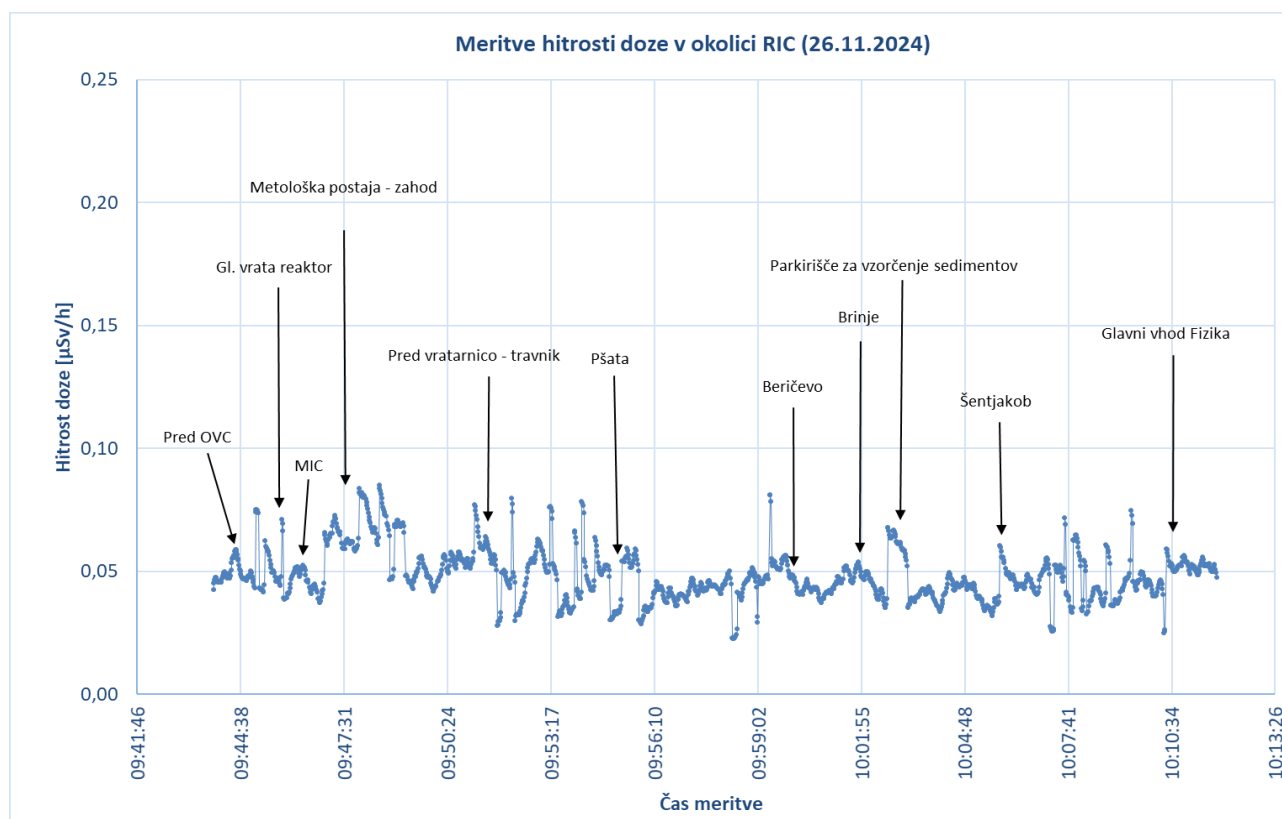
V program vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka spadajo meritve hitrosti doze, kontaminacije zemlje in zraka v okolju. S terenskimi meritvami ugotavljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj Rektorskega centra ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju Rektorskega centra.

Spektrometrijo gama in-situ smo izvedli s prenosnim HPGe spektrometrom na travniku zahodno od reaktorja. Rezultati meritev v tabeli M11 (enakomerna porazdelitev) se s korekcijo na suho snov v



okviru merilne negotovosti dobro ujemajo z meritvami zgornje plasti zemlje (tabela M9). Najbolj odstopajo meritve Cs-137, ki je po zemlji lahko nehomogeno razporejen, tako da je ta primerjava lahko zelo odvisna od mikrolokacije vzorčenja zemlje. Po pričakovanju smo zaznali prisotnost naravnih radionuklidov in Cs-137, ki je posledica kontaminacije širšega okolja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij in černobilske nesreče. Vse vrednosti so običajne za naravno okolje in so primerljive z ostalimi meritvami po reaktorskem centru v preteklih letih. Vrednost za Cs-137 ob predpostavki enakomerne porazdelitve je za leto 2024 18 Bq/kg primerljivo z vrednostmi v letu 2023 (37 Bq/kg). Na zahodni strani RC so vrednosti Cs-137 v zemlji pogosto nekoliko višje kot drugje po RC.

Hitrost doze znotraj ograje Reaktorskega centra (slika 10) in v njegovi okolici smo merili z organskim scintilatorjem večjega volumna, primernim za merjenje naravnega ozadja. Rezultati meritev in njihove lokacije na krožni poti so na sliki 10 in sliki 11. Izmerjene hitrosti doze znotraj ograje Reaktorskega centra in v okoliških naseljih so primerljive z nivoji sevanja drugod po Sloveniji. Za potrebe vzdrževanja pripravljenosti smo vzorčili tudi zračne delce s prenosnim vzorčevalnikom pred vhodom v objekt vroče celice. Aerosolni filter smo izmerili v laboratoriju s spektrometrijo gama. Rezultati meritev so v tabeli M12. V vzorcu nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov. Vse meritve v okviru vzdrževanja pripravljenosti so potrdile, da ni radiološkega vpliva delovanja jedrskega objekta na njegovo okolico in da je SVPIS ustrezno pripravljena na izvajanje tovrstnih meritev.



Slika 10: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (26. 11. 2024) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (Oznaka: 2.11HD)



Slika 11: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Rektorskega centra 26. 11. 2024
(Oznaka: 2.11HD)



4 Ocena vplivov

Neposredne meritve v okolju kažejo, da ni zaznavnega radiološkega vpliva Reaktorskega centra. Zaradi tega je možna le posredna ocena izpostavitve prebivalstva na podlagi emisijskih meritev in modelov. K izpostavitvi prispevata le izpostavitve zaradi tekočinskih izpustov iz zadrževalnih cistern v savsko vodo (ingestija) in zaradi zračnih izpustov Ar-41 (imerzija). Metodologija ocene doz je opisana v *Varnostnem poročilu za TRIGA Mark II v Podgorici* (IJS-DP-10675), [3].

4.1 Ocena efektivne doze zaradi tekočinskih izpustov

Ocena doze zaradi tekočinskih izpustov temelji na hipotetični predpostavki zauživanja savske vode po izpustu tekočin iz zadrževalnih cistern. Ocena je zelo konzervativna, saj predpostavlja, da okoliški prebivalec celo leto pije kontaminirano savsko vodo, čeprav je voda kontaminirana le ob času izpustov. Letno efektivno dozo za ingestijo izračunamo iz enačbe:

$$E_{\text{ing}} = \sum_i \frac{A_i}{\phi \cdot t_{\text{izp}}} V_1 \cdot DF_{\text{ing},i},$$

kjer je:

- A_i letna izpuščena aktivnost izotopa i ,
- ϕ povprečni pretok Save ($58 \text{ m}^3/\text{s}^*$),
- t_{izp} trajanje izpusta (okrog 2 h),
- V_1 količina zaužite vode v enem letu ($0,75 \text{ m}^3/\text{leto}$),
- $DF_{\text{ing},i}$ dozni faktor za ingestijo izotopa i .

*Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov $58 \text{ m}^3/\text{s}$, čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot $58 \text{ m}^3/\text{s}$, zato z ohranjanjem nižje številke konzervativno upoštevamo manjše redčenje.

Tabela 2: Ocenjena letna doza zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	D_{ing} [Sv/Bq]*	E [nSv]
Co-60	9,19E+04	3,4E-09	0,56
Cs-137	2,44E+03	1,3E-08	0,06
Skupaj	9,44E+04		0,62

V letu 2024 smo osemkrat zaznali umetne radionuklide v izpustih iz cisterne O-2 (tabela M1, slika 2). V tabeli 2 je ocenjena letna ingestijska doza. Efektivna letna ingestijska doza je ocenjena na manj kot $0,01 \mu\text{Sv}$. **Ocenjujemo, da je efektivna letna doza zaradi tekočinskih izpustov zanemarljiva.**

4.2 Ocena efektivne doze zaradi zračnih izpustov

Pri oceni efektivne doze na prebivalstvo zaradi zračnih izpustov smo ocenili zunanjo dozo za Ar-41. Inhalacijsko dozo Ar-41 smo zanemarili, saj žlahtne pline izdihnemo, zaradi česar ne pride do notranje kontaminacije. Prav tako je zaradi nizkih koncentracij zanemarljiva inhalacijska doza vseh ostalih izmerjenih radionuklidov in je zato v nadaljevanju poročila nismo podrobneje obravnavali, smo jo pa upoštevali pri izračunu skupne letne doze.

Koncentracijo radionuklidov v zraku v okolju smo ocenili z Gaussovimi modelom. Ob tem smo upoštevali sledeče predpostavke:



- Gaussov model za talni izpust ($h = 0$ m),
- disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ za razred stabilnosti ozračja D in E je povzet iz tabele 11.3.5 (stran 11-50), *Handbook of Health Physics and Radiological Health* [17],
- povprečna hitrost vetra v smeri naselja Pšata je v letu 2024 1,1 m/s.

V tabeli 3 so disperzijski faktorji za razdaljo 100 m (ograja) in 500 m (Pšata) za razreda stabilnosti D in E.

Tabela 3: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira, upoštevan izpust Ar-41 je 26 kBq/s

Oddaljenost od vira [m]:	100	500
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred D [m^{-2}]	1,0E-2	5,0E-4
χ – koncentracija [Bq/m^3]	216	11
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E [m^{-2}]	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	431	22

Za oceno zunanje doze Ar-41 smo uporabili sledeče vhodne parametre in predpostavke:

- letna količina izpuščenega Ar-41 je 0,8 TBq (poglavje 3.2.2)
- dozni pretvorbeni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41: $5,3\text{E-}3 \mu\text{Sv dan}^{-1}/\text{Bq m}^{-3}$ [18]
- delež R oblaka z radijem σ_y glede na polneskončni oblak (tabela 4), povzet s slike 11.3.2 (stran 11-46), *Handbook of Health Physics and Radiological Health* [17]
- iz rože vetrov je razvidno, da je veter 12 % časa pihal v smeri najbližjega naselja Pšata,
- predpostavljena je celoletna izpostavitve (8760 ur) za prebivalce Pšate (razdalja 500 m) in 65 ur na leto za osebo na ograji (razdalja 100 m),
- prebivalci se vse ure predpostavljene izpostavitve zadržujejo na prostem, kar zelo poveča konzervativnost ocene,
- na podlagi meteorološkega mnenja ARSO smo predpostavili, da so v ozračju polovico leta stabilnostne razmere razreda D in polovico leta stabilnostne razmere razreda E.

Tabela 4: Deleži hitrosti doze iz oblaka z radijem σ_y

Oddaljenost od vira [m]:	100	500
σ_y [m] – razred D	8	40
R – delež oblaka z radijem σ_y glede na polneskončni oblak	0,03	0,14
σ_y [m] – razred E	6	30
R – delež oblaka z radijem σ_y glede na polneskončni oblak	0,03	0,1

Efektivno dozo E_{im} zaradi zunanje izpostavljenosti Ar-41 izračunamo iz enačbe:

$$E_{\text{im}} = \chi \cdot D_{\text{im}}(\text{Ar}) \cdot R \cdot t \cdot d,$$

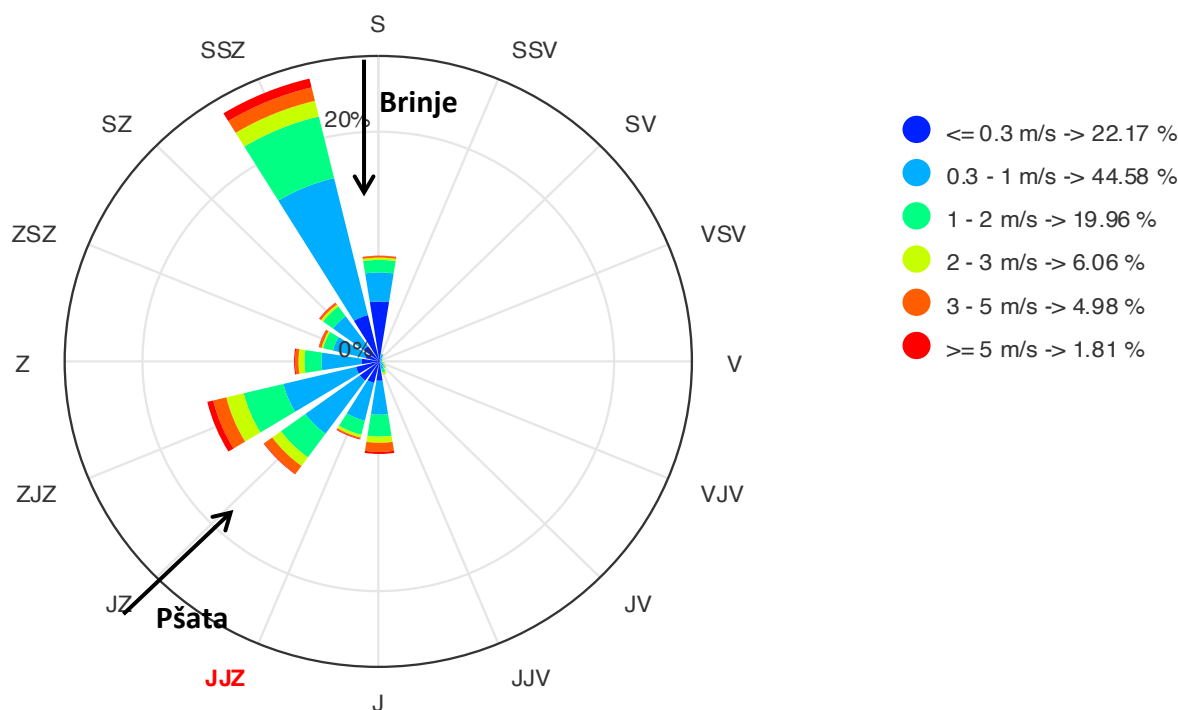
kjer je:

- χ koncentracija Ar-41 v zraku,
 $D_{\text{im}}(\text{Ar})$ dozni pretvorbeni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41,
 R popravek iz polneskončnega oblaka v oblak s končnim radijem σ_y (delež polneskončnega oblaka),



t čas zadrževanja na določenem mestu,
 d delež časa, ko veter piha v določeni smeri.

Iz rože vetrov za leto 2024 (slika 12), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Rektorskega centra, je razvidno, da je veter tudi v letu 2024 najpogostejše pihal v smeri JJV, kamor je pihal 25 % časa s hitrostjo v povprečju 1,2 m/s. V smeri proti najbližjemu naselju Pšata je pihal 12 % časa s hitrostjo 1,1 m/s. Zaradi enostavne dostopnosti realnih letnih podatkov meteorološke postaje od vključno leta 2022 doze računamo na podlagi realnih podatkov za hitrost vetra in čas pihanja v smeri Pšate. V preteklosti je največkrat pihalo večino časa v tej smeri. Čeprav je v letošnjem letu večinska smer vetra drugačna, še vedno računamo doze v smeri najbližjega naselja Pšata, saj je to smer, v kateri bi bili prebivalci najhitreje izpostavljeni. V tabeli 5 so izračunane hitrosti doze in efektivna letna doza za naselje Pšata.



Slika 12: Roža vetrov za leto 2024

Tabela 5: Ocenjene hitrosti doze in letne doze zaradi izpustov Ar-41

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	1,74 E-4	4,05 E-4
	Letna doza [μSv]	0,01	0,35
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	3,47 E-4	5,79 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,51
Povprečje D in E	Letna doza [μSv]	0,02	0,43

Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Rektorskega centra, je efektivna letna doza 0,02 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza 0,43 μSv . **Ocenjujemo, da je efektivna letna doza, prejeta preko zračne prenosne poti, zanemarljiva.** V primeru, da bi reaktor obratoval celo leto na polni moči, bi bila prejeta letna doza na Pšati (oddaljenost 500 m) okoli 10 μSv .



5 MERSKI REZULTATI

5.1 Program obratovalnega monitoringa

Program obratovalnega monitoringa je skladno z 28. členom *Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti* (JV10, Ur. l. RS 27/18) [11] opredeljen v *Varnostnem poročilu za TRIGA Mark II v Podgorici, revizija 7, 2017* (IJS-DP-10675) [3].

Program temelji na starem programu, ki je bil opredeljen v odločbi Uprave RS za jedrsko varnost št. 391-01/00-5-26546/MK z dne 10. 11. 2000. V letu 2013 je bil posodobljen in je skladen s trenutno veljavnim *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* (JV10, Priloga 5: Zasnova programa obratovalnega monitoringa radioaktivnosti raziskovalnega reaktorja).

5.1.1 Program meritev izpustov

Oznaka	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Merska metoda	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve
TEKOČINSKI IZPUSTI					
1.1G	izpustna cisterna O-2	tekočina	VLG	pred praznjenjem (predvidoma 1x tedensko)	predvidoma 1x tedensko
1.2G	drenaža reaktor + OVC	tekočina	VLG	pred praznjenjem (nekajkrat letno)	nekajkrat letno
ZRAČNI IZPUSTI					
1.3G	izpuh reaktorja – žlahtni plini	plinski	VLG	med obratovanjem (1x mesečno)	1x mesečno
1.4G	izpuh reaktorja – zračni delci	filter	VLG	kontinuirano (menjava 2x tedensko)	2x tedensko
1.5G	vroča celica – zračni delci	filter	VLG	kontinuirano (menjava 2x tedensko)	2x tedensko
ZUNANJE SEVANJE					
1.6HD	izpuh reaktorja	-	hitrost doze	kontinuirano	beleženje v 30 min intervalih
1.7D	izpuh reaktorja	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno



5.1.2 Program meritev v okolju

Oznaka	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Merska metoda	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve
TEKOČINE					
2.1G	vodnjak – podtalnica	Tekočina	VLG	1x mesečno*	1x mesečno
REČNI SEDIMENT					
2.2G	Sava nad izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
2.3G	Sava pod izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
TLA					
2.4G	znotraj ograje RC	Zemlja 0-10 cm	VLG	1x letno	1x letno
ZUNANJE SEVANJE					
2.5HD	vzhodna kontrolna točka	-	hitrost doze	kontinuirano	beleženje v 30 min intervalih
2.6D	vzhodna kontrolna točka	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.7D	južna kontrolna točka (vratarica)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.8D	zahodna kontrolna točka (meteorološka postaja)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.9D	severna kontrolna točka (ograja)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
MERITVE KONTAMINACIJE V OKOLJU ZA PRIMER IZREDNEGA DOGODKA					
2.10IS	znotraj ograje RC (na mestu vzorca zemlje)	zemlja	in-situ VLG	1x letno	1x letno
2.11HD	krožna pot okoli objekta	-	hitrost doze	1x letno	intervalno beleženje
2.12G	znotraj ograje RC – zračni delci	filter	VLG	1x letno	1x letno

* Pravilnik JV10 predvideva pogostost vzorčenja 2x letno.

5.1.3 Program meritev reaktorskih tekočin

Oznaka	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Merska metoda	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve
TEKOČINE					
3.1G	primarna voda	tekočina	VLG	1x tedensko	1x tedensko
3.2G	sekundarna voda	tekočina	VLG	1x mesečno	1x mesečno
3.3G	bazen z gorivnimi elementi	tekočina	VLG	1x mesečno	1x mesečno



5.2 Pregled tabel

Tabela M1: Meritve tekočinskih izpustov iz zadrževalne cisterne odseka O-2 (1.1G)

Tabela M2: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic (1.2G)

Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja (1.3G)

Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja (1.4G)

Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice (1.5G)

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja (1.7D)

Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka (2.1G)

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save (2.2G – 2.3G)

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja (2.4G)

Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah (2.6D – 2.9D)

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ (2.10IS)

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja (2.12G)

Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja (3.1G)

Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja (3.2G)

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente (3.3G)



Tabela M1: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz zadrževalne cisterne odseka O-2 v letu 2024 (Oznaka: 1.1G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]
3.1.2024	7,25	6,5	-	-
29.1.2024	5,97	7,0	-	-
26.2.2024	6,37	7,0	-	-
11.4.2024	4,47	7,0	-	-
17.4.2024	2,65	7,0	1,73 ± 0,48	-
30.5.2024	6,35	7,0	1,51 ± 0,31	-
8.7.2024	7,48	7,0	2,37 ± 0,38	-
29.7.2024	6,17	7,0	4,09 ± 0,44	-
26.8.2024	6,91	7,0	1,82 ± 0,27	-
16.9.2024	5,80	7,0	1,60 ± 0,24	-
7.10.2024	6,61	7,0	1,37 ± 0,36	-
13.11.2024	5,32	7,0	0,73 ± 0,33	0,46 ± 0,26
2.12.2024	4,84	7,0	-	-

Tabela M2: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2024 (Oznaka: 1.2G)

Datum vzorčenja – Cisterna RIC	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
11.7.2024	3,63	7,0	-
26.8.2024	3,33	7,0	-
13.11.2023	3,55	7,0	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Prvič v letu 2024 (julija) je bila cisterna reaktorja v aprilu prečrpana v cisterno odseka O-2. Cisterne OVC v letu 2024 nismo nikoli praznili.

Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2024 (Oznaka: 1.3G)

Datum vzorčenja	P _{reaktorja} [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
11.1.2024	250	175 ± 12
6.2.2024	250	168 ± 12
25.3.2024	250	171 ± 12
16.4.2024	250	166 ± 11
13.5.2024	250	156 ± 11
13.6.2024	250	163 ± 11
3.7.2024	250	149 ± 10
20.8.2024	250	153 ± 11
4.9.2024	250	165 ± 11
23.10.2024	250	170 ± 12
20.11.2024	250	174 ± 12
10.12.2024	250	156 ± 11
Povprečje:	250	164



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2024 (Oznaka: 1.4G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec		
3.1.24	406	-	1.2.24	158	-	4.3.24	245	-
8.1.24	285	-	5.2.24	188	-	7.3.24	190	-
11.1.24	194	-	9.2.24	236	-	11.3.24	289	-
15.1.24	201	-	12.2.24	221	-	14.3.24	200	-
18.1.24	190	-	15.2.24	204	-	18.3.24	271	-
22.1.24	239	-	19.2.24	228	-	21.3.24	218	-
25.1.24	162	-	22.2.24	185	-	25.3.24	277	-
29.1.24	187	-	26.2.24	279	-	28.3.24	226	0,3 ± 0,2
			29.2.24	192				
April			Maj			Junij		
2.4.24	328	-	6.5.24	386	-	3.6.24	299	-
4.4.24	158	-	9.5.24	232	-	6.6.24	216	-
8.4.24	284	-	13.5.24	277	-	10.6.24	287	-
11.4.24	206	-	16.5.24	216	-	13.6.24	219	-
15.4.24	290	-	20.5.24	298	-	17.6.24	291	-
18.4.24	201	-	23.5.24	219	-	20.6.24	233	-
22.4.24	297	-	27.5.24	287	-	24.6.24	272	-
25.4.24	216	-	30.5.24	270	-	27.6.24	233	-
30.4.24	338	-						
Julij			Avgust			September		
1.7.24	287	-	1.8.24	235	-	2.9.24	257	-
4.7.24	235	-	5.8.24	284	-	5.9.24	201	-
8.7.24	292	-	8.8.24	231	-	9.9.24	278	-
11.7.24	223	-	12.8.24	262	-	12.9.24	205	-
15.7.24	286	-	15.8.24	224	-	16.9.24	287	-
18.7.24	224	-	19.8.24	287	-	19.9.24	214	-
22.7.24	290	-	22.8.24	235	2,1 ± 0,5	23.9.24	275	-
25.7.24	236	-	26.8.24	281	-	26.9.24	218	-
29.7.24	283	-	29.8.24	213	2,6 ± 0,4	30.9.24	275	-
Oktober			November			December		
3.10.24	207	-	4.11.24	238	-	2.12.24	259	-
7.10.24	278	-	7.11.24	182	-	5.12.24	188	-
10.10.24	213	-	11.11.24	235	-	9.12.24	230	-
14.10.24	261	-	14.11.24	191	-	12.12.24	183	-
17.10.24	186	-	18.11.24	243	-	16.12.24	273	-
21.10.24	251	-	21.11.24	188	3,6 ± 0,5	19.12.24	159	-
24.10.24	194	-	25.11.24	239	-	23.12.24	243	-
28.10.24	257	-	28.11.24	181	-	27.12.24	248	-
31.10.24	178	-				30.12.24	168	-



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2024 (Oznaka: 1.5G)

Datum vzorčenja	V [m³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec			April		
3.1.24	577	-	1.2.24	220	-	4.3.24	320	-	2.4.24	347	-
8.1.24	422	-	5.2.24	282	-	7.3.24	255	-	4.4.24	138	-
11.1.24	244	-	9.2.24	330	-	11.3.24	252	-	8.4.24	283	-
15.1.24	264	-	12.2.24	253	-	14.3.24	194	-	11.4.24	198	-
18.1.24	219	-	15.2.24	262	-	18.3.24	277	-	15.4.24	283	-
22.1.24	313	-	19.2.24	362	-	21.3.24	195	-	18.4.24	205	-
25.1.24	238	-	22.2.24	238	-	25.3.24	265	-	22.4.24	286	-
29.1.24	309	-	26.2.24	322	-	28.3.24	216	-	25.4.24	212	-
			29.2.24	288	-				30.4.24	341	-
Maj			Junij			Julij			Avgust		
6.5.24	405	-	3.6.24	287	-	1.7.24	267	-	1.8.24	210	-
9.5.24	211	-	6.6.24	202	-	4.7.24	200	-	5.8.24	273	-
13.5.24	282	-	10.6.24	263	-	8.7.24	266	-	8.8.24	207	-
16.5.24	203	-	13.6.24	209	-	11.7.24	198	-	12.8.24	335	-
20.5.24	276	-	17.6.24	278	-	15.7.24	252	-	15.8.24	207	-
23.5.24	201	-	20.6.24	221	-	18.7.24	213	-	19.8.24	264	-
27.5.24	272	-	24.6.24	253	-	22.7.24	285	-	22.8.24	208	-
30.5.24	162*	-	27.6.24	215	-	25.7.24	221	-	26.8.24	248	-
						29.7.24	262	-	29.8.24	175	-
September			Oktober			November			December		
2.9.24	259	-	3.10.24	189	-	4.11.24	263	-	2.12.24	252	-
5.9.24	196	-	7.10.24	288	-	7.11.24	205	-	5.12.24	**	-
9.9.24	266	-	10.10.24	216	-	11.11.24	251	-	9.12.24	248	-
12.9.24	206	-	14.10.24	279	-	14.11.24	184	-	12.12.24	170	-
16.9.24	270	-	17.10.24	193	-	18.11.24	251	-	16.12.24	248	-
19.9.24	194	-	21.10.24	271	-	21.11.24	198	-	19.12.24	182	-
23.9.24	258	-	24.10.24	199	-	25.11.24	240	-	23.12.24	247	-
26.9.24	195	-	28.10.24	262	-	28.12.24	175	-	27.12.24	284	-
30.9.24	255	-	31.10.24	198	-				30.12.24	231	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

* Vstavljena dva filtra.

** Filter ni bil vstavljen.

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2024 (Oznaka: 1.7D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,108
februar	0,106
marec	0,087
april	0,072
maj	0,070
junij	0,089
julij	0,095
avgust	0,112
september	0,081
oktober	0,073
november	0,116
december	0,081
Skupaj 2024	1,090



Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2024 (Oznaka: 2.1G)

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
31.1.2024	10,1	-
14.2.2024	9,9	-
20.3.2024	10,0	-
25.4.2024	10,2	-
15.5.2024	10,2	-
6.6.2024	9,8	-
4.7.2024	10,2	-
8.8.2024	10,4	-
5.9.2024	10,5	-
9.10.2024	9,0	-
27.11.2024	10,2	-
4.12.2024	10,1	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Dodatne meritve Odseka F-2, IJS, kjer vzorčevalna in merska metoda omogočata nižjo detekcijsko mejo:

Datum:	20. 03. 2024	4. 12. 2024
Izotop	A [Bq/m ³]	
Be-7	-	-
K-40	54,0 ± 2,8	38,0 ± 2,0
Cs-137	-	0,12 ± 0,08
Pb-210	< 6,3	6,1 ± 0,5
Ra-226	0,71 ± 0,38	2,6 ± 0,6
Ra-228	1,20 ± 0,36	0,9 ± 0,2
Th-228	0,30 ± 0,20	0,86 ± 0,10
U-238	4,70 ± 1,70	3,6 ± 0,8

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save 30. 10. 2024 (Oznaka: 2.2G – 2.3G)

Izotop	A/m [Bq/kg]	
	pod izpustom	nad izpustom
K-40	425 ± 31	409 ± 30
Cs-137	0,64 ± 0,12	0,50 ± 0,21
Ra-226	28,8 ± 2,4	30,7 ± 2,5
Ra-228	28,3 ± 2,2	29,9 ± 2,3
Th-228	27,5 ± 2,1	28,7 ± 2,2
U-238	42,8 ± 9,9	41,4 ± 12,8

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja 6. 11. 2024 na Z strani RC (Oznaka: 2.4G)

Izotop	A/m [Bq/kg]		A/S [kBq/m ²] Depozit 0 – 20 cm
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
K-40	440 ± 33	435 ± 33	-
Cs-137	33,6 ± 2,9	26,7 ± 2,4	6,61 ± 0,83
Pb-210	62,7 ± 25,6	69,8 ± 18,6	-
Ra-226	75,8 ± 6,4	69,0 ± 5,8	-
Ra-228	44,4 ± 3,3	44,4 ± 3,3	-
Th-228	44,4 ± 3,5	41,9 ± 3,3	-
U-238	50,5 ± 12,7	27,8 ± 10,8	-



Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2024 (Oznaka: 2.6D – 2.9D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,065	0,102	0,104	0,099
februar	0,050	0,068	0,085	0,071
marec	0,045	0,077	0,084	0,073
april	0,052	0,083	0,086	0,079
maj	0,047	0,074	0,067	0,080
junij	0,051	0,069	0,073	0,070
julij	0,047	0,080	0,082	0,077
avgust	0,046	0,075	0,072	0,075
september	0,049	0,079	0,078	0,073
oktober	0,044	0,083	0,071	0,072
november	0,040	0,079	0,084	0,063
december	0,044	0,073	0,073	0,095
Skupaj 2024	0,578	0,942	0,959	0,927

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ 6. 11. 2024 na Z strani RC (Oznaka: 2.10IS)

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
Be-7	8,63 ± 2,70	0,29 ± 0,10
K-40	265 ± 29	-
Cs-137	18,3 ± 2,2	0,68 ± 0,14
Ra-226	43,7 ± 5,1	-
Ra-228	27,5 ± 3,1	-
Th-228	28,3 ± 3,0	-

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja 14. 11. 2024 pred vhodom v vročo celico (Oznaka: 2.12G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
14. 11. 2024	56	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2024 (Oznaka: 3.1G)

Datum	P _{reakt.} [kW]	Na-24 [Bq/kg]	Mg-27 [Bq/kg]	Ar-41 [Bq/kg]	Cr-51 [Bq/kg]	Mn-54 [Bq/kg]	Mn-56 [Bq/kg]
03.01.2024	0						
08.01.2024	0	29,0 ± 2,5			7,93 ± 2,78		
16.01.2024	0	8,82 ± 0,98		11,8 ± 1,4			
25.01.2024	0	15,7 ± 1,5					
29.01.2024	0	502 ± 38		10988 ± 830			683 ± 51
05.02.2024	0	41,3 ± 3,4		37,1 ± 3,4		0,93 ± 0,36	4,86 ± 0,95
12.02.2024	0	0,92 ± 0,21					
19.02.2024	0	69,8 ± 5,6			9,24 ± 2,70		
26.02.2024	0	64,1 ± 5,2			14 ± 3,2	1,71 ± 0,51	
04.03.2024	0	15,1 ± 1,5		167 ± 13	9,49 ± 3,20	1,35 ± 0,47	11,7 ± 1,5
11.03.2024	0,155	235 ± 18		5916 ± 447			407 ± 31
18.03.2024	0			3,18 ± 0,77	3,90 ± 2,12	2,86 ± 0,48	
25.03.2024	0,00065	660 ± 50		20667 ± 1561			1176 ± 87
03.04.2024	0	4,71 ± 0,66		6,42 ± 0,98			
08.04.2024	0	9,03 ± 1,04		1035 ± 79			35,7 ± 3,4
15.04.2024	0						
22.04.2024	0	1,86 ± 0,46					
06.05.2024	0			18,3 ± 1,9			
16.05.2024	0	518 ± 39		14089 ± 1064			663 ± 50
20.05.2024	0	29,7 ± 2,5			11,2 ± 3,0		
27.05.2024	0	16,1 ± 1,6				1,30 ± 0,32	
03.06.2024	0	5,00 ± 0,72		87,6 ± 7,1			5,65 ± 0,98
10.06.2024	0	20,1 ± 1,8					
14.06.2024	0	1033 ± 87			17,5 ± 3,8		
24.06.2024	0	2,30 ± 0,59					
01.07.2024	50	69,2 ± 5,6		3906 ± 295			163 ± 13
08.07.2024	250	416 ± 32		25095 ± 1896			1234 ± 92
15.07.2024	0	426 ± 33		9387 ± 709			516 ± 39
22.07.2024	0	2,25 ± 0,58				0,92 ± 0,31	
29.07.2024	0	4,13 ± 0,65					
05.08.2024	0						
12.08.2024	0						
19.08.2024	250	97,3 ± 7,7	2812 ± 249	10585 ± 800			352 ± 27
26.08.2024	0	360 ± 27		13867 ± 1048			850 ± 64
04.09.2024	250	895 ± 68	2256 ± 202	31190 ± 2355			1568 ± 116
09.09.2024	0	28,8 ± 2,5			38,3 ± 5,8	2,63 ± 0,43	
16.09.2024	0				7,65 ± 3,49	1,56 ± 0,34	
23.09.2024	0	12,1 ± 1,2				1,32 ± 0,38	
30.09.2024	0						
07.10.2024	50	34,2 ± 2,9	199 ± 24	1818 ± 138			71,2 ± 5,9
14.10.2024	0						
21.10.2024	0	12,5 ± 1,3					
28.10.2024	0	12,7 ± 1,3			7,31 ± 2,75		
04.11.2024	0						
11.11.2024	0	1,13 ± 0,40					
18.11.2024	0						
25.11.2024	0	47,9 ± 3,9			15,8 ± 5,5	1,66 ± 0,39	
02.12.2024	0	49,7 ± 4,1				1,62 ± 0,37	
09.12.2024	3	11,6 ± 1,1		92,8 ± 7,4			4,08 ± 0,75
16.12.2024	0	3,41 ± 0,58					
23.12.2024	0	17,2 ± 1,6				0,81 ± 0,26	
30.12.2024	0						

Nadaljevanje tabele na naslednji strani



Datum	P _{reakt.} [kW]	Co-58 [Bq/kg]	Co-60 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
03.01.2024	0					
08.01.2024	0	1,54 ± 0,43		2,64 ± 0,44		
16.01.2024	0	0,86 ± 0,35	1,27 ± 0,38	4,20 ± 0,59		
25.01.2024	0			3,33 ± 0,52		
29.01.2024	0					18,1 ± 7,0
05.02.2024	0	2,09 ± 0,50		4,92 ± 0,69		
12.02.2024	0					
19.02.2024	0	2,77 ± 0,61		8,22 ± 1,01	1,34 ± 0,48	2,04 ± 1,32
26.02.2024	0	2,91 ± 0,54		7,58 ± 1,04	1,33 ± 0,5	
04.03.2024	0	3,79 ± 0,68		1,51 ± 0,33		
11.03.2024	0,155		1,5 ± 0,7			
18.03.2024	0	4,86 ± 0,64	0,74 ± 0,41			
25.03.2024	0,00065			5,59 ± 1,74		26,5 ± 9,7
03.04.2024	0	1,54 ± 0,37		3,49 ± 0,52		
08.04.2024	0					
15.04.2024	0					
22.04.2024	0	1,38 ± 0,35		1,61 ± 0,36		
06.05.2024	0					
16.05.2024	0			13,9 ± 2,3		25,9 ± 9,8
20.05.2024	0	1,99 ± 0,45	4,92 ± 0,56	4,53 ± 0,63		
27.05.2024	0	2,01 ± 0,42		2,47 ± 0,42		
03.06.2024	0			0,79 ± 0,32		
10.06.2024	0	1,81 ± 0,38	2,26 ± 0,35	2,63 ± 0,46		
14.06.2024	0	3,22 ± 0,51	1,4 ± 0,5	19455 ± 2721		
24.06.2024	0	1,73 ± 0,36		1,26 ± 0,28		
01.07.2024	50			2,78 ± 0,77		
08.07.2024	250					28,2 ± 8,6
15.07.2024	0			5,10 ± 1,32		19,3 ± 7,4
22.07.2024	0	1,79 ± 0,36		1,88 ± 0,40		
29.07.2024	0			1,59 ± 0,46		
05.08.2024	0	1,2 ± 0,3	0,98 ± 0,27			
12.08.2024	0					
19.08.2024	250			5,03 ± 1,53		
26.08.2024	0			21,0 ± 2,8		23,6 ± 5,7
04.09.2024	250			14,0 ± 2,8		41,5 ± 10,6
09.09.2024	0	4,35 ± 0,60	2,87 ± 0,39	11,4 ± 1,4	2,33 ± 0,55	3,60 ± 1,47
16.09.2024	0	2,31 ± 0,46	1,41 ± 0,25	2,14 ± 0,59		
23.09.2024	0	1,47 ± 0,36	0,89 ± 0,26	2,56 ± 0,47		
30.09.2024	0	0,60 ± 0,22				
07.10.2024	50					
14.10.2024	0	1,27 ± 0,3	0,88 ± 0,29			
21.10.2024	0			1,17 ± 0,48		
28.10.2024	0	1,45 ± 0,34		2,08 ± 0,44		
04.11.2024	0	1,32 ± 0,25				
11.11.2024	0					
18.11.2024	0	0,49 ± 0,19				
25.11.2024	0	3,31 ± 0,52	1,27 ± 0,45	8,69 ± 1,03	2,20 ± 0,62	1,90 ± 1,03
02.12.2024	0	2,47 ± 0,45		5,56 ± 0,8	1,56 ± 0,45	3,32 ± 1,09
09.12.2024	3	1,69 ± 0,44		1,30 ± 0,48		
16.12.2024	0	1,83 ± 0,38	1,17 ± 0,29	2,26 ± 0,41		
23.12.2024	0	2,15 ± 0,37		1,45 ± 0,50		
30.12.2024	0	0,68 ± 0,26				

Opomba: Aktivnosti radionuklidov v vodi niso neposredno korelirane z močjo reaktorja. Kadar je vzorčenje primarne vode takoj po zaustavitvi reaktorja, so aktivnosti nekaterih radionuklidov lahko še vedno visoke (npr. Ar-41 in Na-24).



Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2024 (Oznaka: 3.2G)

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
11.01.2024	-
06.02.2024	-
19.03.2024	-
16.04.2024	-
13.05.2024	-
13.06.2024	-
03.07.2024	-
20.08.2024	-
04.09.2024	-
23.10.2024	-
20.11.2024	-
10.12.2024	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2024 (Oznaka: 3.3G)

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost [Bq/kg]
11.1.2024	6,0	-
12.2.2024	6,0	-
13.3.2024	6,0	-
4.4.2024	6,0	-
9.5.2024	6,0	-
6.6.2024	6,0	-
3.7.2024	6,0	-
5.8.2024	6,0	-
3.9.2024	6,0	-
3.10.2024	6,0	-
14.11.2024	6,0	-
5.12.2024	6,0	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



5.3 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.

5.3.1 Voda

Običajno se vode poročajo v koncentraciji aktivnosti v Bq/m³. Zaradi akreditacije poročamo specifično aktivnost v Bq/kg. Pretvorbeni faktor je 1000.

5.3.2 Zemlja

Aktivnost poročamo v Bq/kg osušene zemlje ali kot depozit v Bq/m² za umetne radionuklide v primeru spektrometrije gama in-situ.

5.3.3 Zrak

Aktivnost poročamo v Bq (skupna aktivnost filtra).

5.3.4 Zunanja doza

Poročamo okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ v sievertih [Sv]. Okoljska doza za običajno naravno okolje je $H^*(10) = 1,2 \times K_a$. K_a je absorbirana doza v zraku v grayih [Gy].

5.4 Merske metode

5.4.1 Visokoločljivostna spektrometrija gama

Koncentracije sevalcev gama v vzorcih vod, filtrov, žlahtnih plinov, zemlje in sedimentov se merijo z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčenje poteka skladno s postopkom *Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva Reaktorskega centra na okolje* (SVPI-S-R-DN-31), [4]. Vzorci se merijo po postopku *Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama* (ELME-DN-17), [5]. Institut "Jožef Stefan", Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025).

5.4.2 Meritve hitrosti doze

Meritve hitrosti doze v okolju se izvajajo v okviru vzdrževanja pripravljenosti in potekajo po internem postopku *Meritve hitrosti doze z uporabo prenosnih merilnikov* (ELME-DN-04), [6]. Institut "Jožef Stefan", Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025).

5.4.3 Termoluminiscenčna dozimetrija

Doze zunanjega sevanja merimo z okoljskimi pasivnimi dozimetri. Odčitavanje termoluminiscenčnih dozimetrom se izvaja v sodelovanju s pooblaščenim in akreditiranim dozimetričnim Laboratorijem za termoluminiscenčno dozimetrijo na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij. Institut "Jožef Stefan", Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025).



5.5 Orientacijske spodnje detekcijske meje in način poročanja za VLG spektrometrijo

Spodnjo detekcijsko mejo izračunamo kot $L_D = 2,71 + 4,65\sqrt{B}$, kjer je B število sunkov v ustreznem ozadju. V tabeli so orientacijske spodnje detekcijske meje (MDA) za VLG detektorje *Gray* (b05148), *Becquerel* (b14117) in *Curie* (b23063). Vrednosti so določene iz meritev slepih vzorcev za akreditirane geometrije in njihove tipične čase meritev.

MEDIJ	Voda			Zrak			Zemlja		
Velikost vzorca	250 mL			200 m ³			240 mL		
Enota	[Bq/kg]			[Bq]			[Bq/kg]		
Detektor	Gray	Becquerel	Curie	Gray	Becquerel	Curie	Gray	Becquerel	Curie
Na-24	2,32	1,62	0,75	0,20	0,16	0,12	2,06	0,74	1,08
Ar-41	3,31	2,43	2,06	0,29	0,23	0,16	3,49	0,04	3,33
Cr-51	12,6	10,1	7,53	0,86	0,77	0,89	14,1	7,93	9,29
Mn-54	1,97	1,45	0,60	0,16	0,13	0,08	2,02	0,59	1,02
Co-58	1,95	1,46	0,59	0,15	0,11	0,08	1,93	0,97	0,95
Co-60	2,33	1,75	0,67	0,20	0,16	0,10	1,99	1,08	1,01
Zn-65	5,17	3,24	1,42	0,41	0,33	0,22	5,70	2,99	2,92
I-131	1,63	1,33	0,90	0,11	0,10	0,12	1,72	0,96	1,17
Cs-137	2,21	0,84	0,73	0,15	0,12	0,10	1,71	0,72	0,74
K-40	42,3	24,3	5,62	3,50	2,56	0,50	29,8	18,2	8,76
Ra-226	2,81	3,15	2,02	0,26	0,23	0,23	3,84	2,67	2,72
Ra-228	9,02	5,81	2,48	0,70	0,52	0,26	7,53	4,29	3,68
Th-228	2,69	2,32	1,28	0,17	0,19	0,20	2,39	1,58	1,62
U-238	24,3	21,8	13,1	1,03	1,27	1,39	20,8	16,6	17,2

Rezultat meritve poročamo, kadar vrednost rezultata presega mejo za odločitev (Decision threshold: $L_C = 1,645\sqrt{2B}$, kjer je B število sunkov v ustreznem ozadju). V tem primeru lahko s 95 % verjetnostjo trdimo, da je radionuklid prisoten v vzorcu. Če vrednost ne presega meje odločitve, radionuklid v vzorcu ni bil zaznan in rezultata ne poročamo, kar označimo z znakom -. Za zemlje, sedimente ter površinski depozit (in-situ) poročamo izmerjene umetne in naravne radionuklide, za vse ostale meritve poročamo le prisotnost umetnih radionuklidov.

5.6 Primerjalne meritve

5.6.1 Spektrometrija gama

V letu 2024 smo sodelovali na dveh mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2023, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2024.

NPL Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2023

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, višje koncentracije

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Na-22	8,5 ± 0,5	8,674 ± 0,033	ustreza
Co-60	30,6 ± 1,8	31,230 ± 0,110	ustreza
Ba-133	36,4 ± 2,3	38,840 ± 0,270	ustreza
Cs-137	13,1 ± 1,0	13,201 ± 0,098	ustreza
Eu-155	7,7 ± 0,7	7,630 ± 0,140	ustreza



Vse izmerjene aktivnosti ustrezajo kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator. Količina NPL vzorca z višjimi koncentracijami radionuklidov je bila manjša od standardne količine, ki jo uporabljamo za pripravo akreditiranih vzorcev na SVPIŠ. Zato smo merili manjše vzorce in prilagodili uporabljeno geometrijo za izračun rezultatov. Kljub temu, da ob spremembi geometrije običajno poročamo večjo negotovost, smo zaradi majhne spremembe geometrije poročali negotovosti kot pri akreditiranih meritvah. Uradni rezultati so zbrani v NPL poročilu [15].

IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu (Sample 1)

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Na-22	17,82 ± 1,73	19,1 ± 1,0	ustreza
Eu-152	14,95 ± 1,39	14,8 ± 0,7	ustreza

Vsebnost naravnih radionuklidov v vzorcu sedimenta (Sample 3)

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
K-40	885 ± 63	873 ± 44	ustreza
Pb-210	201 ± 46	306 ± 17	ne ustreza
Bi-214	352 ± 22	340 ± 13	ustreza
Ra-226	360 ± 28	340 ± 13	ustreza
Ra-228	293 ± 19	307 ± 17	ustreza
U-238	269 ± 43	246 ± 11	ustreza

Vsebnost naravnih radionuklidov v vzorcu boksita (Sample 4)

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
K-40	26,9 ± 6,1	35,1 ± 8,5	ustreza
Cs-137	2,61 ± 0,33	2,44 ± 0,26	ustreza
Pb-210	71 ± 23	140 ± 6	ne ustreza
Bi-214	146 ± 9	144 ± 5	ustreza
Ra-226	149 ± 11	144 ± 5	ustreza
Ra-228	124 ± 8	130 ± 8	ustreza
U-238	135 ± 20	143 ± 7	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na vzorcu simulirane kontaminirane površine (Sample 5)

Izotop	A [Bq]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Sr-90	3,3 ± 1,3	3,28 ± 0,16	vprašljiv
Cs-134	7,7 ± 0,5	7,71 ± 0,39	ustreza

Vzorci 1 (voda), 3 (sediment) in 4 (boksit) so merjeni s spektrometrijo gama, vzorec 5 je površinski vzorec, merjen z merilnikom kontaminacije. Vsi poročani radionuklidi, merjeni s spektrometrijo gama, ki so v našem obsegu akreditacije, ustrezajo vsem kriterijem sprejemljivosti! Pb-210 v vzorcu 3 in 4 močno odstopa od referenčnih vrednosti, vendar je Pb-210 izven našega obsega akreditacije in ga običajno ne poročamo. Pri meritvah površinskega vzorca (5) je negotovost meritve previsoka glede na kriterije sprejemljivosti, zato je natančnost meritve nezadovoljiva in končni rezultat vprašljiv. Glede na način določanja Sr-90 je negotovost razumljiva in za naše potrebe več kot samo sprejemljiva. Tudi rezultati hitrega poročanja (vzorec 1) v celoti ustrezajo kriterijem sprejemljivosti.



Vsi rezultati umetnih radionuklidov, ki jih poročamo v okviru akreditacije, se dobro ujemajo z referenčnimi rezultati, poročanimi z IAEA [16].

5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2024 smo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu (Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2024, Ronneburg, Nemčija [13]) in na primerjalnih meritvah hitrosti doze PRIMER 2024 [12]. Pregled rezultatov primerjalnih meritev hitrosti doze na merilnem območju, predvidenem za uporabo posameznega merilnika, kažejo dobro ujemanje. Nekoliko večje odstopanje smo pričakovano zaznali pri manj občutljivih merilnikih pri hitrostih doze, ki so manjše od 0,1 $\mu\text{Sv/h}$.

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti [11] smo v letu 2024 izvedli nadzorne meritve s strani neodvisnega pooblaščenega izvajalca monitoringa radioaktivnosti (ZVD). Primerjali smo rezultate meritev vzorcev primarne vode. Primarna voda je bila vzorčena enkrat in isti vzorec pomejen najprej na SVPIŠ in naslednji dan še na ZVD.

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	ZVD	
Na-24	895 $\pm$ 68	786 $\pm$ 34	ustreza
Mg-27	2256 $\pm$ 202	-	/
Ar-41	31190 $\pm$ 2355	-	/
Mn-54	1,53 $\pm$ 0,42	1,41 $\pm$ 0,34	ustreza
Mn-56	1568 $\pm$ 116	-	/
Tc-99m	14,0 $\pm$ 2,8	-	/
W-187	41,5 $\pm$ 10,6	29,9 $\pm$ 1,8	ustreza

Rezultate SVPIŠ in ZVD smo primerjali z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|H_{\text{IJS}} - H_{\text{ZVD}}|}{\sqrt{u_{\text{IJS}}^2 + u_{\text{ZVD}}^2}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_{IJS} in u_{ZVD} negotovosti meritev. V okviru u-testa se rezultati ujemajo za vse radionuklide, ki imajo dovolj dolg razpolovni čas (Na-24, Mn-54, W-187). Radionuklidov, ki imajo razpolovni čas manj kot 8 ur (Mg-27, Ar-41, Mn-56, Tc-99m), ZVD po enem dnevu ni mogel več zaznati. So pa na ZVD zaznali Mn-54, katerega aktivnost je blizu MDA in ima daljši razpolovni čas (312 dni). Na SVPIŠ smo meritev čez nekaj časa ponovili, da smo lahko ocenili še nizko aktivnost Mn-54, ki je bil ob prvi meritvi skrit v signalu radionuklidov s krajšim razpolovnim časom.



6 Referenčna dokumentacija

1. Poročila o rezultatih meritev vzorcev v okviru programa obratovalnega monitoringa za leto 2024
2. Mesečna poročila o rezultatih okoljske dozimetrije za leto 2024, F2, IJS
3. Varnostno poročilo za TRIGA Mark II v Podgorici, revizija 7, 2017 (IJS-DP-10675)
4. Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva reaktorskega centra na okolje, SVPIS-R-DN-31
5. Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama, ELME-DN-17
6. Meritve hitrosti doze z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-04
7. Meritve površinske kontaminacije z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-03
8. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti, ZVISJV-1 (Ur.l. RS št. 76/17, 26/19, 172/21, 18/23 in 18/23 – ZDU-10)
9. Uredba o sevalnih dejavnostih, UV1 (Ur.l. RS št. 19/18 in 6/24)
10. Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji, UV2 (Ur.l. RS št. 18/18)
11. Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, JV10 (Ur.l. RS št. 27/18)
12. Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama PRIMER 2024, IJS-DP-14960
13. Primerjalne meritve hitrosti doze 2024, Ronneburg, Nemčija, IJS-DP-14867
14. Radiološki pregled virov sevanja, Reaktorski infrastrukturni center, 31/24-N
15. NPL Report IR 66, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2023 – Final Report, van Es et. al., 2024
16. IAEA-TERC-2024-01 Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report, IAEA, 2024
17. Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998
18. ICRP Publication 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, Elsevier Ltd, 2012
19. Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja, LMSAR-20230024-AŽ-rev1, A. Žohar, ZVD, d. o. o., 2024