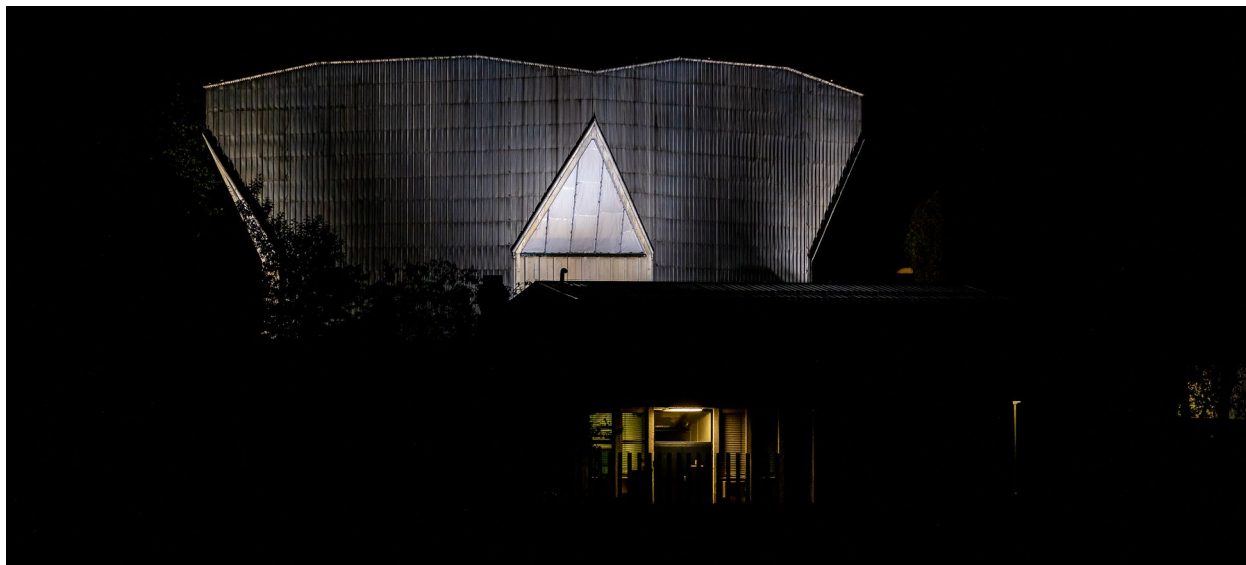


MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



POROČILO ZA LETO 2022

Interna oznaka poročila: 2/23-N

Leto izdaje: 2023 Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar		
Pregledal	mag. Matjaž Stepišnik		
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	Datum	Podpis
Pooblaščen izvedenec	dr. Gregor Omahen		





<i>Naročnik</i>	Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS)
<i>Izvajalec del:</i>	Inštitut "Jožef Stefan" – Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS)
<i>Naslov poročila:</i>	MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS, POROČILO ZA LETO 2022
<i>Pogodbena številka:</i>	-
<i>Odgovorni nosilec naloge:</i>	mag. Matjaž Stepišnik
<i>Avtorji poročila:</i>	dr. Tinkara Bučar, Tanja Murn, mag. Matjaž Stepišnik
<i>Izvajalci meritev:</i>	Tanja Murn, Tinkara Bučar, Matjaž Stepišnik
<i>Štev.del.por. IJS:</i>	IJS-DP-14313
<i>Kopije:</i>	Arhiv SVPIS RIC URSJV URSVS Knjižnica IJS
<i>Slika na naslovni strani:</i>	Razsvetljen reaktor za nočno snemanje filma »Verižna reakcija«, foto: M. Verč



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
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 IZPUSTOV.....	8
3.2	MERITVE V OKOLJU.....	10
3.3	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN.....	15
4	OCENA VPLIVOV.....	16
4.1	ATMOSFERSKI IZPUSTI.....	16
4.2	TEKOČINSKI IZPUSTI.....	19
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 2022 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 0,8 TBq, kar je primerljivo s prejšnjimi leti (1,1 TBq v 2021). Na podlagi konzervativnih predpostavk je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja na prebivalca v okolici Reaktorskega centra zaradi atmosferskih izpustov ocenjena na manj kot 1 μSv , enako kot v preteklih letih.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila za leto 2022 konzervativno ocenjena na manj kot 0,01 μSv , kar je primerljivo z izpusti v letu 2019, ko je bila ingestijska efektivna doza nazadnje merljiva.

Sevalna izpostavitvev prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega centra je zanemarljiva v primerjavi z neizogibno izpostavitvijo naravnemu sevanju v običajnem okolju (2,4 mSv na leto). 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 2022 opravljene po Programu obratovalnega monitoringa sevanja 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 (prebivalce iz referenčne skupine) 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 2022 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 obratoval 661 ur, kar je le 10 % manj kot v letu 2021, in 43 % več kot v letu 2020, ko je bilo zaradi epidemije najmanjše število obratovalnih ur v zadnjih letih.

Program obratovalnega monitoringa je podrobneje predstavljen v poglavju 5.1. Temelji na dejavnostih, ki so povezane z Institutom "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 izpustov (**emisije**), meritve v okolju (**imisije**) in meritve **reaktorskih tekočin**.

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 atmosferski in tekočinski prenosni poti. Izpusti so ovrednoteni v poglavju 3.1, 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 3.2.

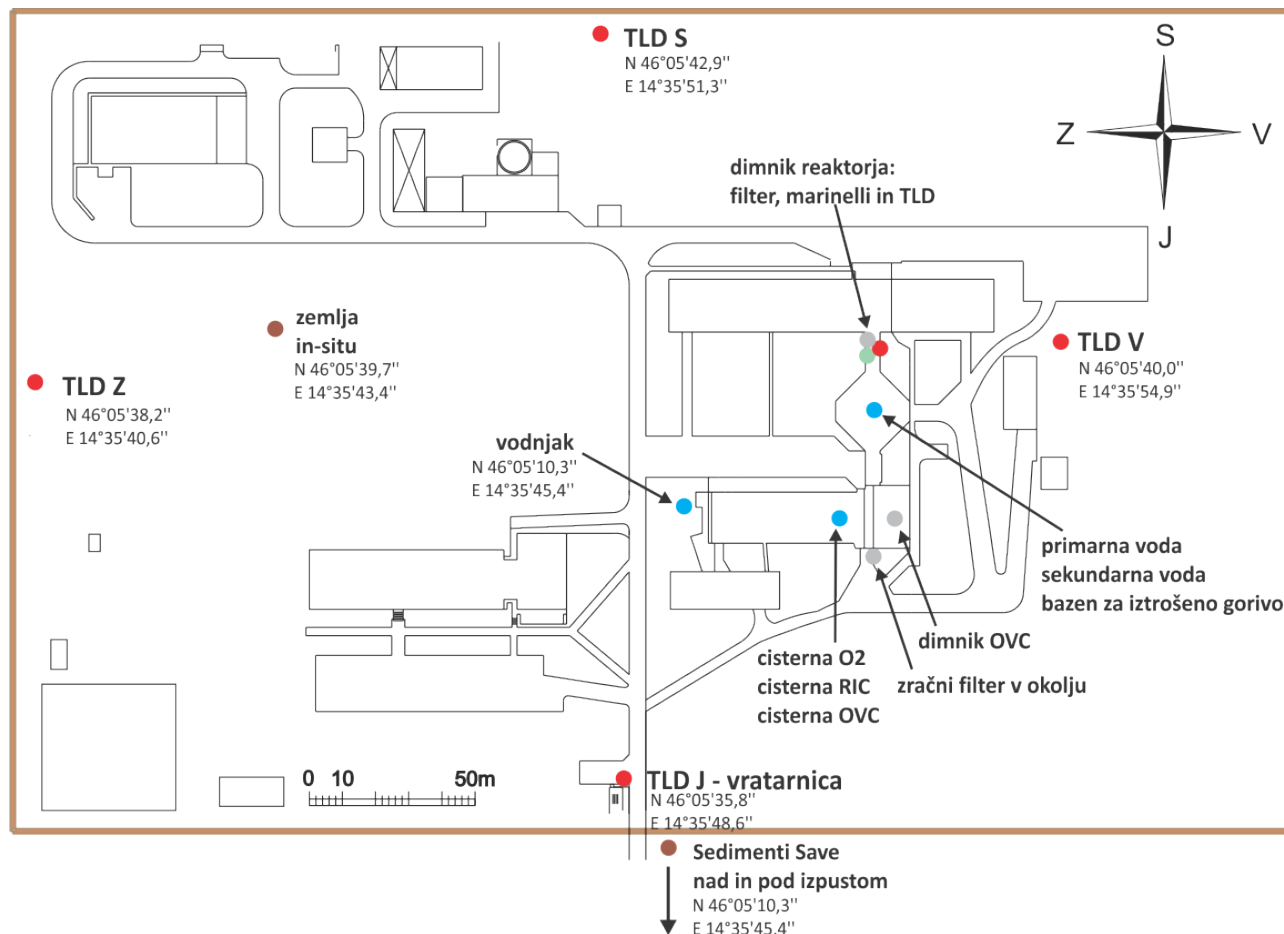
V okviru nadzora **reaktorskih tekočin** izvajamo meritve vzorcev vode iz bazena reaktorja (primarna voda), iz sekundarnega kroga reaktorja ter iz bazena za iztrošene gorivne elemente. Z meritvami aktivnosti tekočin se posredno izvaja nadzor nad puščanjem gorivnih elementov, nad učinkovitostjo filtriranja vode in nad puščanjem med primarnim in sekundarnim krogom. Meritve rektorskih tekočin so ovrednotene v poglavju 3.3.

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. Zemljo smo letos vzorčili 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 2022



3 Ovrednotenje meritev

3.1 Meritve izpustov

Z meritvami izpustov ocenjujemo izpostavljenost prebivalstva sevanju zaradi dejavnosti na Rektorskem centru. Program spremljanja emisij temelji na meritvah tekočinskih in atmosferskih izpustov ter zunanjsega sevanja na izpustnih mestih.

3.1.1 Tekočinski izpusti

V izpustni kanal se iztekajo drenažne tekočine Odseka za znanosti o okolju (O-2), reaktorja in vročih celic. Drenažne tekočine Odseka O-2 v reko Savo izpuščamo običajno ob ponedeljkih, drenažne tekočine reaktorja enkrat na mesec, če je v cisterni dovolj tekočine. Zadrževalna cisterna drenaže vročih celic je bila v zadnjih 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. Rezultati meritev za leto 2022 so združeni v tabelah M1 in M2. V cisterni O-2 smo zaznali prisotnost Co-60, Cs-137 in Am-241 blizu meje detekcije, v cisterni drenaže reaktorja pa nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov. Cisterna reaktorja je bila v letu 2022 izčrpana petkrat. Tekočine iz zadrževalne cisterne drenaže OVC nismo merili, saj je bila cisterna celo leto suha.

3.1.2 Zračni izpusti

Pri atmosferski prenosni poti je najpomembnejše izpuščanje Ar-41 iz prezračevalnega sistema 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). Argon vzorčujemo v dimniku reaktorja enkrat mesečno, tako da odvzamemo trenutni plinski vzorec (marinelli). Takoj po zagonu reaktorja začne koncentracija argona počasi naraščati in doseže maksimalno ravnovesno vrednost približno dve uri po zagonu. Vzorec vzamemo pri maksimalni koncentraciji. 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 200 m³. Na enak način vzorčimo zračne delce tudi na izpuhu iz OVC.

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. Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2022 je bila 168 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila izmerjena v decembru 179 kBq/m³. V povprečno vrednost nismo vključili nekoliko nižje oktobrske vrednosti (149 kBq/m³), saj je bil vzorec pobran manj kot eno uro po zagonu reaktorja. Povprečna vrednost je primerljiva z lanskoletno povprečno vrednostjo (165 kBq/m³).

Primerjava koncentracij Ar-41 z meritvami pred letom 2015 kaže povišanje, saj je bila tega leta iz tangencialnega kanala 6 odstranjena stara eksperimentalna oprema. Na ta način se je povečala količina razpoložljivega zraka v votlinah ob sredici reaktorja. Tangencialni kanal 6 z nevtronskim fluksom reda velikosti 10¹² n cm⁻²s⁻¹ se uporablja od leta 2016 za obsevanje večjih komponent. Podobno je bil leta 2019 predelan v obsevalno napravo tudi tangencialni kanal 5, kjer so nevtronski



fluksi dva velikostna reda nižji. Zaradi omenjenih predelav se je povečala povprečna koncentracija Ar-41 v dimniku reaktorja z okrog 100 kBq/m³ na okrog 150 kBq/m³. Argonski sistem namreč izčrpava 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.

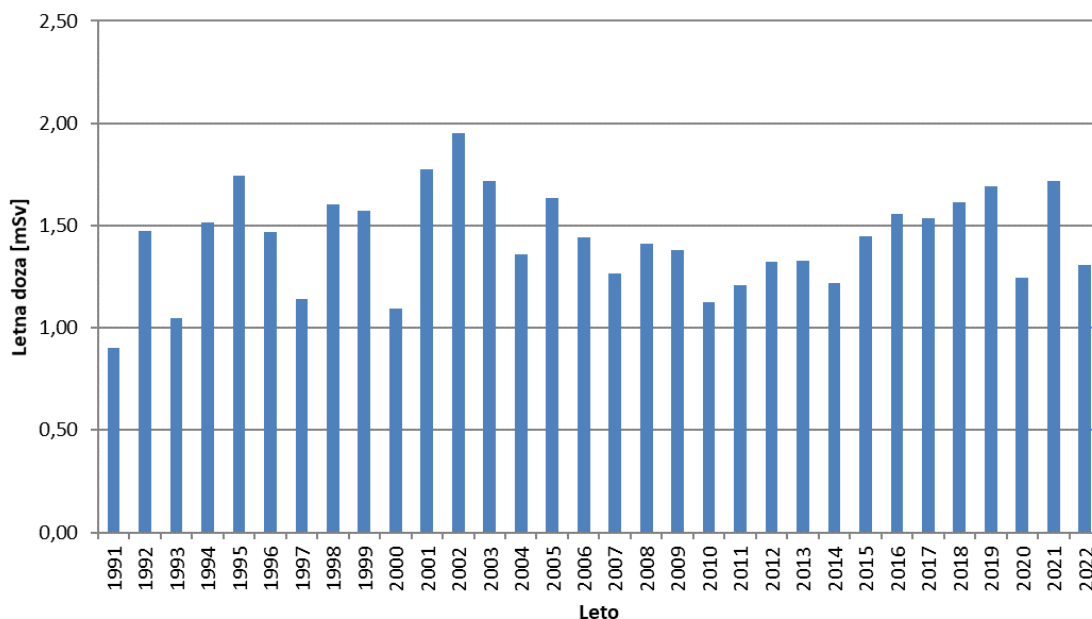
Na filtrih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2022 nekajkrat zaznali prisotnost Na-24 nizkih aktivnosti, večinoma primerljivih z mejo detekcije. V tem letu nismo zaznali prisotnosti drugih radionuklidov, vendar lahko v prihodnosti še vedno pričakujemo občasno prisotnost npr. Br-82, Sb-122 ali Sb-124. 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. Rezultati meritev zračnih filtrov v dimniku reaktorja in v vročih celicah so zbrani v tabelah M4 in M5.

3.1.3 Zunanje sevanje

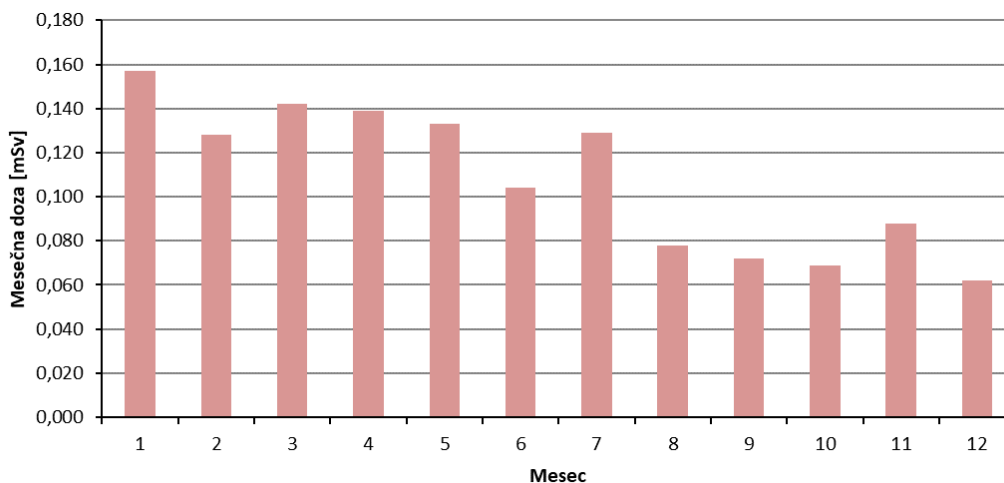
V dimniku reaktorja je nameščen TLD, katerega doza je korelirana s trajanjem in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega polurni odčitki so predstavljeni na sliki 7 in podrobneje opisani v poglavju 3.2.4.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2022 prikazane na sliki 2. Vrednosti segajo od naravne letne doze TLD (0,9 mSv) do dvakratnega ozadja (skoraj 2 mSv za leto 2002) in so odvisne od obratovanja reaktorja. Za leto 2022 je bila skupna letna doza TLD 1,3 mSv in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.

Na sliki 2 je viden postopen trend naraščanja letne doze od leta 2010 do 2021 (1,3 mSv v 2022, 1,7 mSv v letu 2021, 1,7 mSv v letu 2019 in 1,6 mSv v 2018), kar je povezano s številom obratovalnih ur delovanja reaktorja. Najnižja vrednost letne doze je leta 2020 zaradi epidemije.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2022



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2022 (Oznaka; 1.7D)

3.2 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 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 SVPIS.

3.2.1 Voda iz vodnjaka

Vzorčenje vode iz vodnjaka poteka v neposredni bližini stavbe odseka O-2 (slika 1). V letu 2022 se je prvič zgodilo, da je bil kar v štirih mesecih leta (marec, junij – avgust) vodnjak suh in vode nismo mogli vzorčiti. Poleg rednih mesečnih meritev vzorcev vode iz vodnjaka so v letu 2022 dvakrat vodo 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.

3.2.2 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 2022 izmerjene koncentracije Cs-137 1,14 Bq/kg nad in 1,49 Bq/kg pod izpustom. 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 v sedimentih nad izpustom in pod izpustom kažejo, da ni povečane koncentracije Cs-137 v sedimentih zaradi reaktorskih izpustov, kar je pričakovati tudi iz meritev izpustov reaktorskih tekočin (tabela M2), v katerih smo v letu 2022 le dvakrat zaznali prisotnost umetnih radionuklidov na meji detekcije.



3.2.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku zahodno od reaktorja, med objektoma ICJT in MIC (tabela M9), poleg lokacije In-Situ meritev (slika 4). 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 46 Bq/kg je primerljiva z običajnimi vrednostmi za zemlje (okoli 50 Bq/kg) zaradi globalne kontaminacije. Najvišje vrednosti Cs-137 v zgornji plasti zemlje smo izmerili leta 2012 nedaleč stran od letošnje lokacije, v okolici meteorološke postaje, neposredno ob dozimetru na zahodni kontrolni točki. Izmerjena aktivnost je bila 111 Bq/kg.

V letu 2022 sta vrednosti cezija za zgornjo plast (0-10 cm, 46 Bq/kg) in spodnjo plast (10-20 cm, 35 Bq/kg) primerljivi. Zaradi časovne oddaljenosti globalne kontaminacije in naravnih procesov, je cezij v zemlji že enakomerno razporejen v plasteh zemlje do 20 cm. Zaradi razpolovne dobe in izpiranja v globlje plasti se aktivnost cezija postopoma zmanjšuje.



Slika 4: Težke razmere za opravljanje In-Situ meritev v letu 2022 (levo), Z od reaktorja, 27. 9. 2022, in vzorčenje sedimentov ob Savi (desno), 28. 10. 2022

3.2.4 Zunanje sevanje

Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1).

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

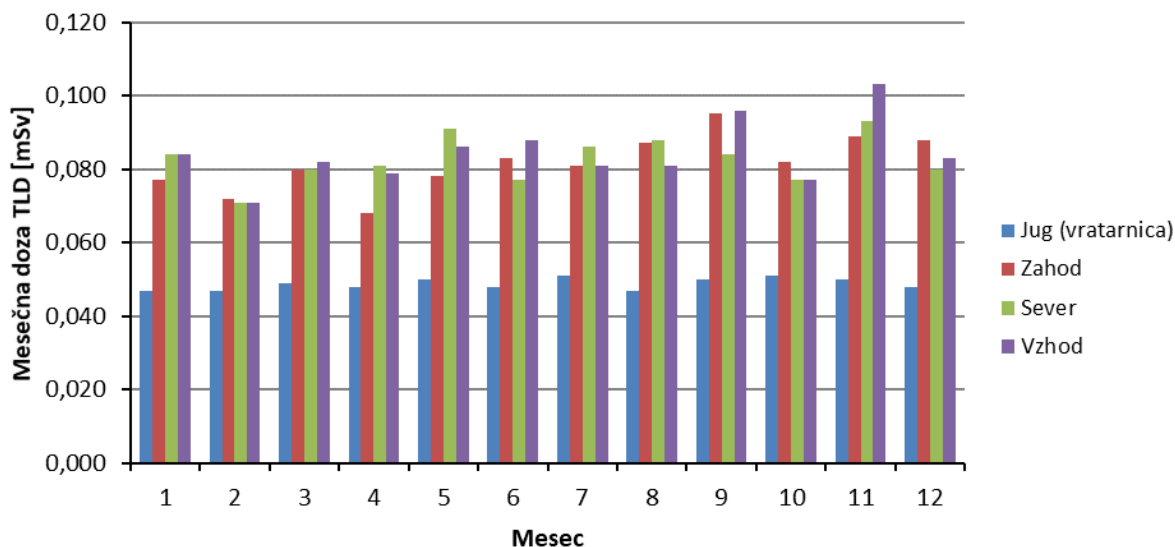
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	Ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirni merilnik okolje

Na vzhodnem merilnem mestu (TLD-vzhod) poteka tudi kontinuirna meritev hitrosti doze. Do lanskega leta je meritev potekala z detektorjem Berthold LB111, od letošnjega leta dalje pa poročamo rezultate merilnika MFM.

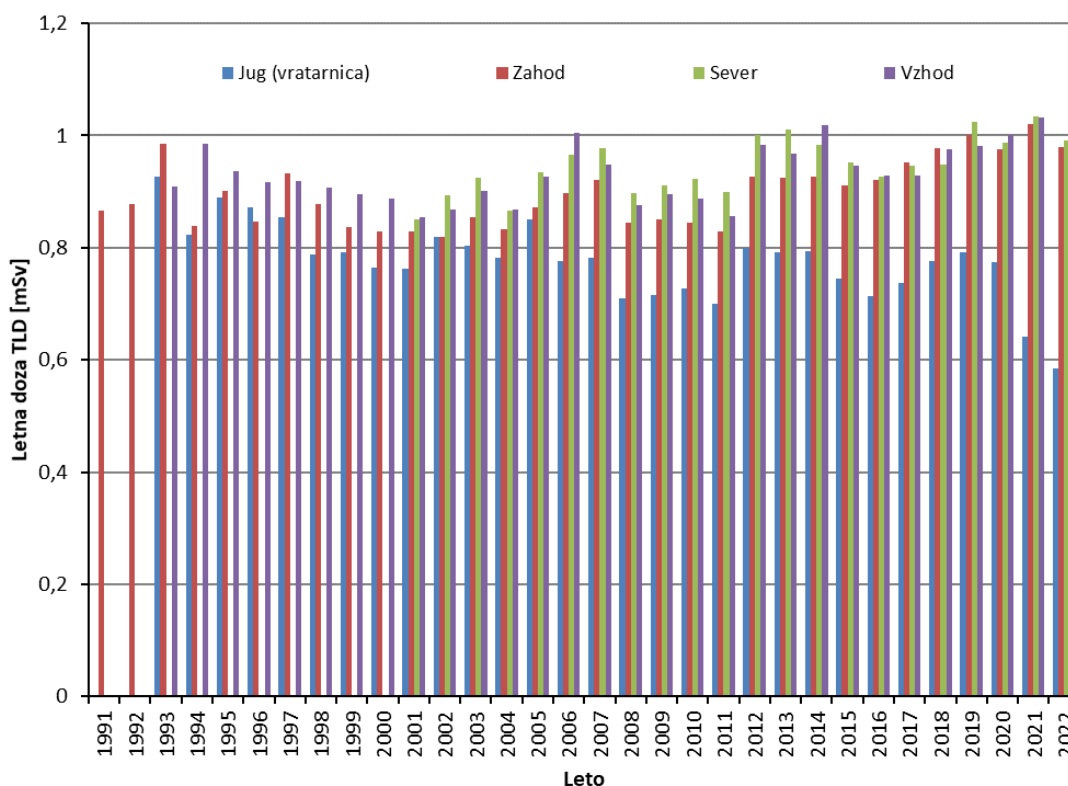
Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2022 so na sliki 5 in v tabeli M10 in letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev na sliki 6. Večina vrednosti je na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,08 mSv/mesec oziroma 1 mSv/leto). Razlike med posameznimi točkami 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 5: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2022 (Oznaka 2.6D – 2.9D).



Slika 6: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2022.

Na sliki 7 je hitrost doze merjena v polurnih intervalih z merilnikom Berthold LB111 na izpuhu iz reaktorske hale in z merilnikom MFM na vzhodni kontrolni točki. Izstopajo sledeče značilnosti:

- Do opaznih povečanj zunanje sevanja (okoli 0,5 $\mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzročata žlahtni plin Ar-41, kar je razvidno tudi iz primerjave mesečnih doz na vzhodni kontrolni točki (tabela M10) s tistimi na izpuhu iz reaktorja (tabela M6).



- Rahla povečanja zunanje sevanja na vzhodnem merilnem mestu se pojavljajo ob padavinah, ki iz ozračja izperejo kratkožive radonove potomce. Pojav je naraven in ni povezan z obratovanjem reaktorja.
- S slike 7 je razvidno, da je zunanje sevanje takrat, ko reaktor ne obratuje, na izpuhu reaktorja nižje (okoli 0,05 $\mu\text{Sv/h}$) kot na vzhodnem merilnem mestu (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.
- Od leta 2015 se je zaradi spremembe eksperimentalne postavitve v reaktorju povprečna hitrost doze na izpuhu reaktorja pri delovanju reaktorja na polni moči s približno 0,35 $\mu\text{Sv/h}$ povišala na okrog 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ (poglavje 3.1.2).
- Na obeh kontinuirnih merilnikih je prišlo zaradi tehničnih motenj do krajšega izpada prenosa podatkov, kar se vidi tudi na grafu, kjer manjkajo podatki.



Slika 7: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2022 – kontinuirna merilnika Berthold LB111 in MFM ter TLD (Oznaka: 1.6HD)

3.2.5 Vzdrževanje pripravljenosti

V program vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka spadajo meritve kontaminacije zemlje in zraka v okolju. S terenskimi meritvami ugotovljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj Reaktorskega centra ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju Reaktorskega 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), nekoliko odstopajo le meritve Ra-226, saj je med meritvijo in-situ dež spral radonove potomce iz zraka in smo ocenili višjo koncentracijo Ra-226 kot v suhi zemlji. 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

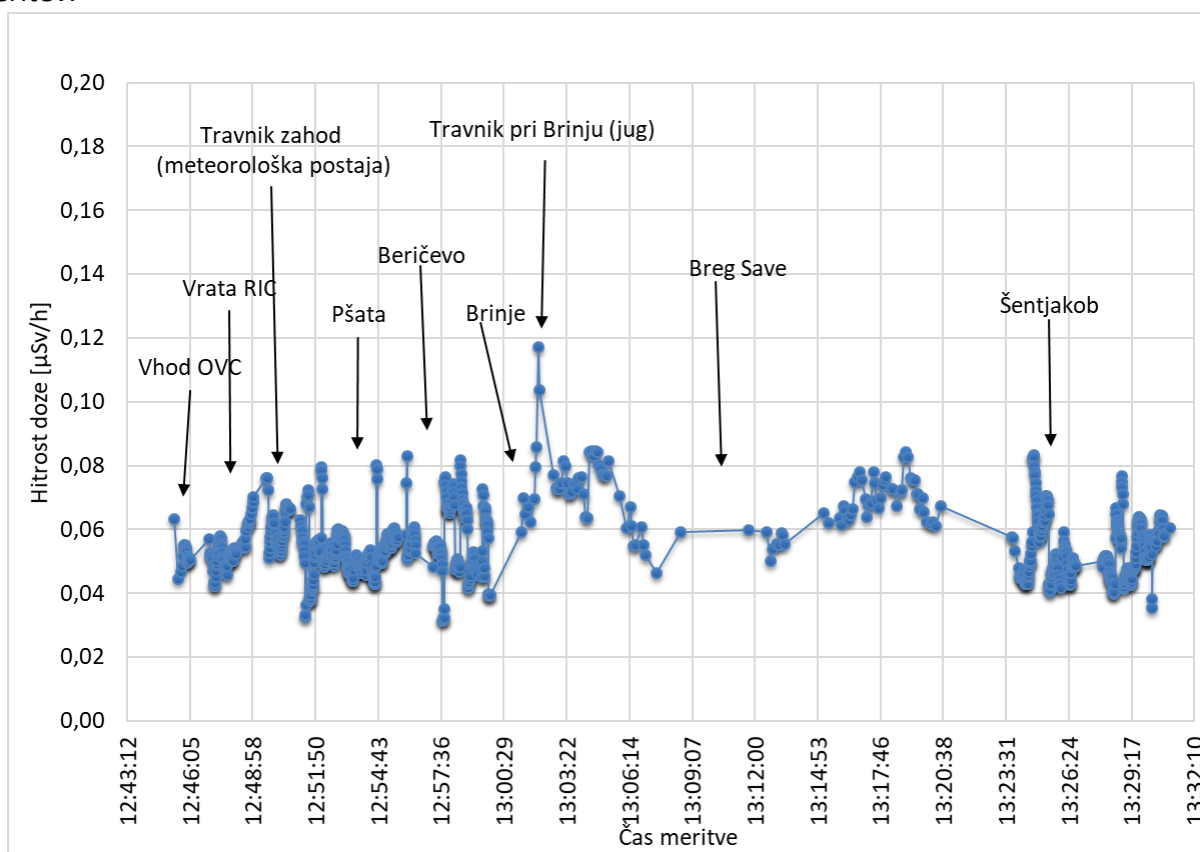


enakomerne porazdelitve je za leto 2022 27 Bq/kg podobno kot v letu 2021 (20 Bq/kg). Meritve za leto 2021 so bile opravljene na drugi lokaciji (severovzhodna stran reaktorskega centra).

Hitrost doze znotraj ograje Reaktorskega centra (slika 8) 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 8 in sliki 9. 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 vhomom 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 SVPIŠ ustrezno pripravljena na izvajanje tovrstnih meritev.



Slika 8: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (28. 10. 2022) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (Oznaka: 2.11HD)



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra 28. 10. 2022 (Oznaka: 2.11HD)

3.3 Meritve reaktorskih tekočin

V okviru nadzora reaktorskih tekočin izvajamo meritve vzorcev (VLG spektrometrija) 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.

3.3.1 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 2022 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 2022 nismo zaznali fisijskih produktov, kar kaže na to, da gorivni elementi niso poškodovani.

3.3.2 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.

3.3.3 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 2022 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.



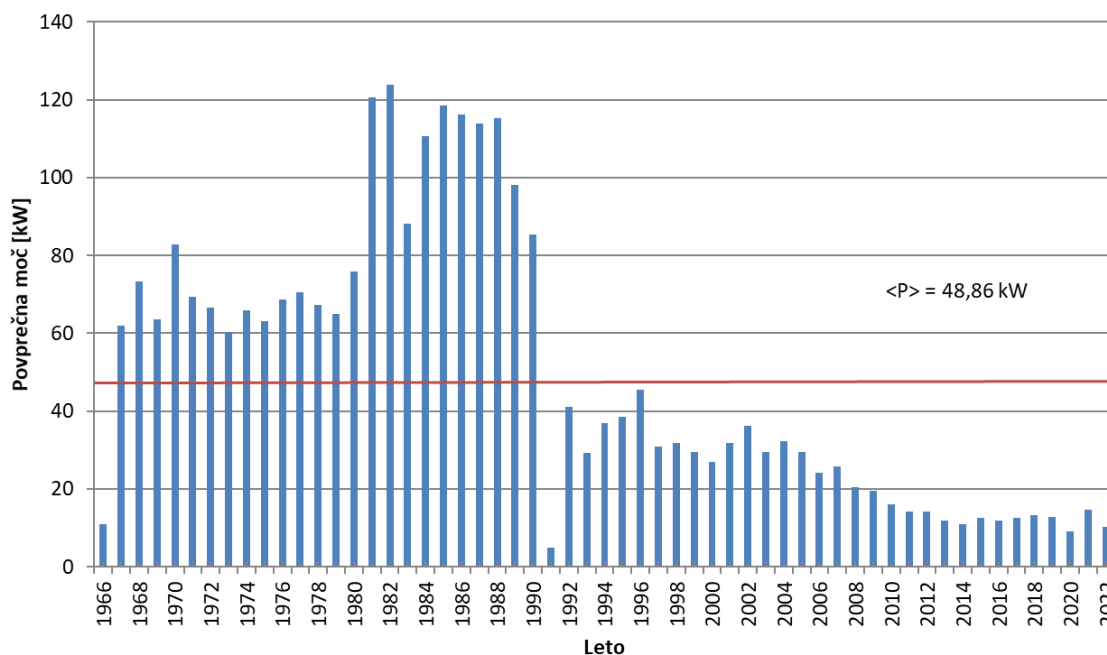
4 Ocena vplivov

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

4.1 Atmosferski izpusti

Med obratovanjem reaktorja se v zraku naravno prisotni Ar-40 aktivira in ob sredici nastaja radioaktivni Ar-41. Ventilacijski sistem ga sproti izpihava v okolje. Aktivnost nastalega Ar-41 je po prehodnem obdobju po zagonu reaktorja sorazmerna z obratovalno močjo reaktorja. Inhalacijska doza argona je radiološko razmeroma nepomembna. Pomembna je le zunanja izpostavljenost (imerzija).

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 2022 je bil 4 m³/s. V letu 2022 je bila povprečna izmerjena aktivnost Ar-41 168 kBq/m³. Iz povprečja smo izpustili oktobrski vzorec, ker je bil argon v oktobru vzorčen manj kot eno uro po zagonu reaktorja, kar ni dovolj, da bi koncentracija argona v izpustu dosegla maksimalno vrednost. Iz povprečne izmerjene aktivnosti in pretoka izračunamo hitrost izpuščanja 0,64 MBq/s pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2022 je bila 10,5 kW (slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) 26 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 0,8 TBq (1,1 TBq v 2021, in 0,7 TBq v 2020).



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2022, <P> je povprečje za celotno življenjsko obdobje reaktorja TRIGE



Poleg Ar-41 smo tako kot v preteklih letih v zračnih izpustih nekajkrat zaznali tudi Na-24 (tabela M4) z največjo izmerjeno aktivnostjo 1,2 Bq na filter, kar je približno 0,01 Bq/m³. Prisotnosti drugih umetnih radionuklidov nismo zaznali. Inhalacijska doza vseh izmerjenih radionuklidov na prebivalstvo je zanemarljiva v primerjavi z izpostavitvijo Ar-41 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 Gausovim modelom. Ob tem smo upoštevali sledeče predpostavke:

- Gaussov model za talni izpust ($h = 0$ m),
- disperzijski faktor $v\chi/Q$ 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 2022 1,4 m/s.

V tabeli 2 so disperzijski faktorji za razdaljo 100 m (ograja) in 500 m (Pšata) za razreda stabilnosti D in E.

Tabela 2: Parametri Gausovega 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]	264	13
disperzijski faktor ($v\chi/Q$) razred E [m ⁻²]	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m ³]	528	26

4.1.1 Ocena efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov

Pri oceni efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov smo ocenili zunanjo dozo za Ar-41, saj je inhalacijska doza v primerjavi z njo zanemarljiva. Za oceno zunanje doze Ar-41 smo uporabili sledeče vhodne parametre in predpostavke:

- dozni pretvorbeni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41: 5,3E-3 $\mu\text{Sv dan}^{-1}/\text{Bq m}^{-3}$ [18]
- delež R oblaka z radijem σ_y glede na polneskončni oblak (tabela 3), 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 izpostavitvev (8760 ur) za prebivalce Pšate (razdalja 500 m) in 65 ur na leto za osebo na ograji (razdalja 100 m),
- 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 3: 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



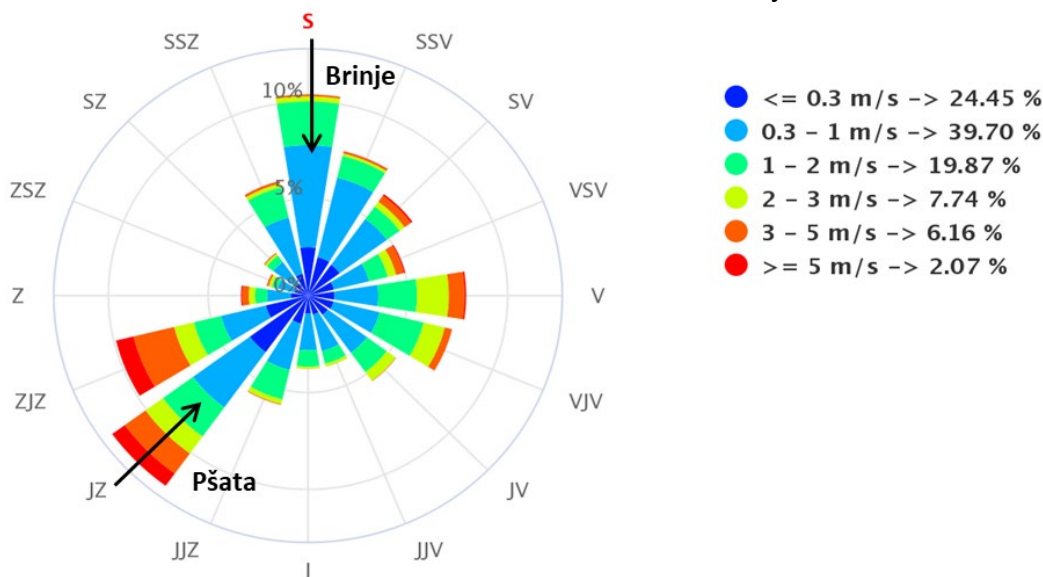
Efektivno dozo E_{im} zaradi zunanje izpostavljenosti Ar-41 izračunamo iz enačbe:

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

kjer je:

- χ koncentracija Ar-41 v zraku,
- $D_{im}(\text{Ar})$ 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 2022 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je veter tudi v letu 2022 najpogosteje pihal proti SV (v smeri proti naselju Pšata), kamor je pihal 12 % časa s hitrostjo v povprečju 1,4 m/s. Do letošnjega leta smo doze računali ob upoštevanju privzetih vhodnih parametrov za najbližje naselje Pšata (10 % časa v smeri Pšate in hitrost vetra 1 m/s). Zaradi enostavne dostopnosti realnih letnih podatkov meteorološke postaje bomo od vključno leta 2022 doze računali na podlagi realnih podatkov, vendar še vedno v smeri najbližjega naselja Pšata, kamor je v preteklih letih tudi najpogosteje pihalo. V tabeli 4 so izračunane hitrosti doze in efektivna letna doza za naselje Pšata.



Slika 11: Roža vetrov za leto 2022

Tabela 4: Ocenjene hitrosti doze in letne doze zaradi izpustov Ar-41

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	1,47 E-4	3,42 E-5
	Letna doza [μSv]	0,01	0,30
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	2,93 E-4	4,89 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,43
Povprečje D in E		0,01	0,37



Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je efektivna letna doza 0,01 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza 0,37 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 oddaljenosti 500 m okoli 10 μSv .

4.2 Tekočinski izpusti

Drenažne tekočine Reaktorskega centra se zbirajo v treh ločenih zadrževalnih cisternah (reaktor, Odsek za znanosti o okolju O-2 in OVC). V letu 2022 smo v cisterni O-2 zaznali Co-60, Cs-137 in Am-241 (tabela M1), najverjetneje zaradi nadzorovanega izpusta ostanka kalibracijskih tekočin pod mejo izvzvetja konec oktobra. Največ je bilo izpuščenega Am-241 in to 20 kBq v novembru. Skupna izpuščena aktivnost za to leto je bila 46 kBq (tabela 5 in slika 12).

V cisterni RIC nismo zaznali umetnih radionuklidov (tabela M2), cisterna OVC je bila tudi v letu 2022 suha.

4.2.1 Ocena efektivnih doz 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 človek celo leto pije savsko vodo. 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:

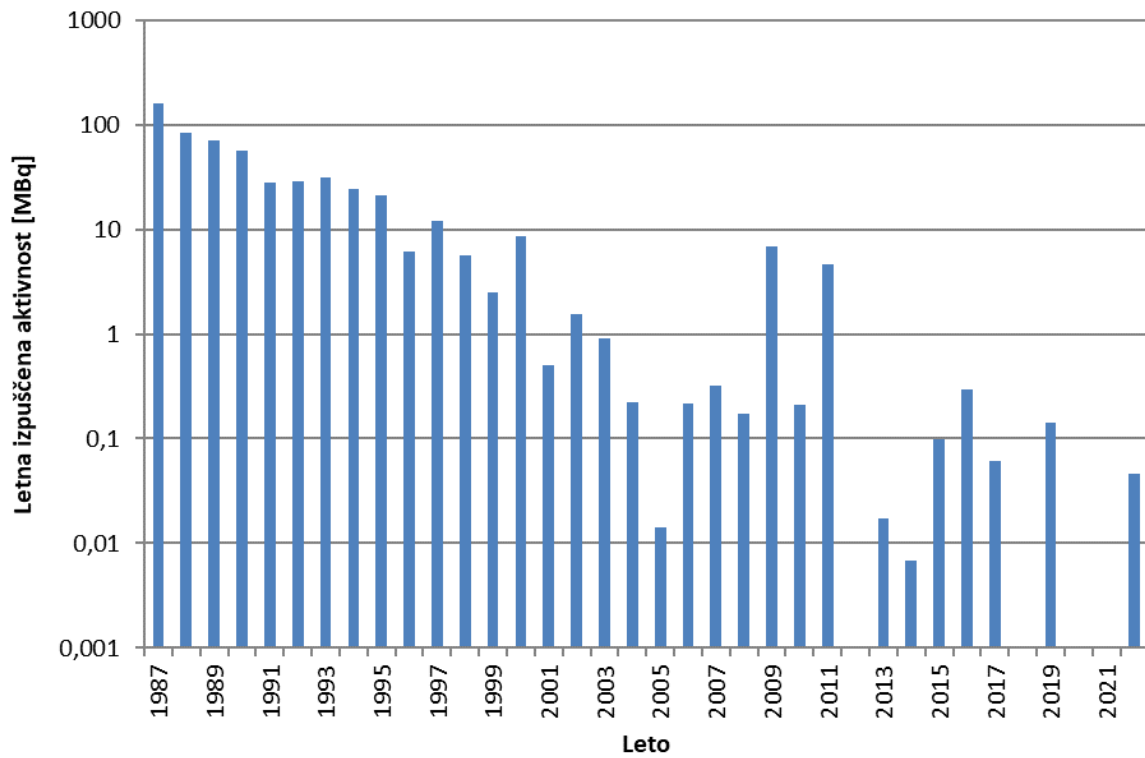
- A_i letna izpuščena aktivnost izotopa i ,
- ϕ povprečni pretok Save (58 m^3/s^*),
- t_{izp} trajanje izpusta (okrog 2 h),
- V_1 količina zaužite vode v enem letu (0,75 m^3/leto),
- $DF_{\text{ing},i}$ dozni faktor za ingestijo izotopa i .

*Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov 58 m^3/s , čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot 58 m^3/s , zato z ohranjanjem nižje številke ostaja ocena konzervativna.

V letu 2022 smo dvakrat zaznali umetne radionuklide v izpustih iz cisterne O2 (tabela M1, slika 12). V tabeli 5 je ocenjena letna ingestijska doza. Efektivna letna ingestijska doza je ocenjena na manj kot 0,01 μSv (tabela 5). **Ocenjujemo, da je tudi efektivna letna doza preko tekočinskih izpustov zanemarljiva.**

Tabela 5: Ocenjena letna doza zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	D_{ing} [Sv/Bq]*	E [nSv]
Co-60	1,10E+04	3,4E-09	0,07
Cs-137	1,50E+04	1,3E-08	0,35
Am-241	2,02E+04	2,0E-07	7,27
Skupaj	4,63E+04		7,69



Slika 12: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2022



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).

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 (vratarnica)	-	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 2022 (Oznaka: 1.1G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]	Aktivnost Am-241 [Bq/kg]
17.1.2022	7,97	7,0	-	25.07.2022	8,17	7,0	-	-	-
10.02.2022	5,35	7,0	-	01.08.2022	5,00	7,0	-	-	-
24.02.2022	7,23	7,0	-	17.08.2022	8,80	7,0	-	-	-
15.03.2022	7,60	7,0	-	29.08.2022	17,96	7,0	-	-	-
28.03.2022	7,03	6,5	-	12.09.2022	7,78	7,0	-	-	-
11.04.2022	6,30	6,5	-	26.09.2022	6,65	7,0	-	-	-
25.04.2022	5,62	6,5	-	10.10.2022	9,97	7,0	-	-	-
16.05.2022	6,08	7,0	-	24.10.2022	7,92	7,0	-	-	-
06.06.2022	8,06	7,0	-	03.11.2022	8,06	7,5	1,37 ± 0,29	1,86 ± 0,46	-
20.06.2022	8,26	7,0	-	14.11.2022	7,35	7,5	-	-	2,75 ± 0,46
04.07.2022	9,70	7,0	-	28.11.2022	7,05	7,0	-	-	-
11.07.2022	4,80	7,0	-	12.12.2022	5,05	7,0	-	-	-
18.07.2022	4,90	7,0	-						-

Tabela M2: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2022 (Oznaka: 1.2G)

Datum vzorčenja – Cisterna RIC	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
03.03.2022	3,05	7,0	-
15.06.2022	3,24	7,0	-
04.07.2022	3,86	7,0	-
04.08.2022	2,18	7,0	-
30.11.2022	3,17	7,0	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2022 nismo nikoli praznili.

Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2022 (Oznaka: 1.3G)

Datum vzorčenja	P _{reaktorja} [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
05.01.2022	250	170 ± 12
21.02.2022	250	166 ± 11
08.03.2022	250	172 ± 41
12.04.2022	250	169 ± 12
25.05.2022	250	165 ± 11
20.06.2022	250	159 ± 11
13.07.2022	250	160 ± 11
24.08.2022	250	171 ± 12
01.09.2022	250	172 ± 12
04.10.2022	250	149 ± 10
09.11.2022	250	164 ± 11
28.12.2022	250	179 ± 43
Povprečje:	250	166

Opomba: Oktobrski vzorec smo za oceno izpustov argona izpustili iz povprečja, saj je bil čas od zagona reaktorja do vzorčenja krajši od ene ure in zato argon v dimniku še ni dosegel maksimalne vrednosti. Povprečje brez oktobrske vrednosti je 168 kBq/m³.



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2022 (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		
Na-24						Na-24		
3.1.22	237	-	4.2.22	189	-	3.3.22	201	-
6.1.22	164	1,15 ± 0,29	9.2.22	287		7.3.22	202	-
10.1.22	215	-	11.2.22	127	-	10.3.22	179	-
13.1.22	176	-	14.2.22	197	-	14.3.22	210	-
17.1.22	160	-	17.2.22	191	-	17.3.22	178	0,48 ± 0,14
20.1.22	123	-	21.2.22	263	-	21.3.22	214	-
24.1.22	187	-	24.2.22	200	-	24.3.22	168	-
27.1.22	175	-	28.2.22	252	-	28.3.22	206	-
31.1.22	186	-				31.3.22	155	0,31 ± 0,14
April			Maj			Junij		
			Na-24					
4.4.22	295	-	3.5.22	309	-	1.6.22	142	-
7.4.22	210	-	5.5.22	154	0,46 ± 0,18	6.6.22	346	-
11.4.22	275	-	9.5.22	257	-	9.6.22	232	-
14.4.22	208	-	12.5.22	203	-	13.6.22	291	-
19.4.22	303	-	16.5.22	274	-	16.6.22	207	-
21.4.22	165	-	19.5.22	207	-	20.6.22	264	-
25.4.22	285	-	23.5.22	264	-	23.6.22	201	-
28.4.22	206	-	26.5.22	218	-	27.6.22	270	-
			30.5.22	278	-	30.6.22	204	
Julij			Avgust			September		
4.7.22	256	-	1.8.22	239	-	1.9.22	242	-
7.7.22	213	-	4.8.22	207	-	5.9.22	293	-
11.7.22	283	-	8.8.22	273	-	8.9.22	235	-
14.7.22	215	-	11.8.22	210	-	12.9.22	304	-
18.7.22	263	-	16.8.22	384	-	15.9.22	220	-
21.7.22	223	-	18.8.22	147	-	19.9.22	303	-
25.7.22	256	-	22.8.22	283	-	22.9.22	228	-
29.7.22	287	-	25.8.22	251	-	26.9.22	296	-
			29.8.22	276	-	29.9.22	242	
Oktober			November			December		
3.10.22	285	-	2.11.22	309	-	1.12.22	214	-
6.10.22	239	-	7.11.22	326	-	5.12.22	272	-
10.10.22	283	-	10.11.22	197	-	9.12.22	262	-
13.10.22	228	-	14.11.22	272	-	12.12.22	225	-
17.10.22	237	-	17.11.22	208	-	15.12.22	191	-
21.10.22	242	-	21.11.22	270	-	19.12.22	221	-
24.10.22	210	-	24.11.22	227	-	22.12.22	191	-
28.10.22	278	-	28.11.22	247	-	27.12.22	291	-
						29.12.22	164	-



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2022 (Oznaka: 1.5G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec			April		
3.1.22	327	-	4.2.22	277	-	3.3.22	220	-	4.4.22	274	-
6.1.22	202	-	9.2.22	355	-	7.3.22	269	-	7.4.22	198	-
10.1.22	259	-	11.2.22	133	-	10.3.22	225	-	11.4.22	279	-
13.1.22	207	-	14.2.22	202	-	14.3.22	263	-	14.4.22	195	-
17.1.22	256	-	17.2.22	198	-	17.3.22	212	-	19.4.22	346	-
20.1.22	186	-	21.2.22	278	-	21.3.22	281	-	21.4.22	150	-
24.1.22	263	-	24.2.22	198	-	24.3.22	202	-	25.4.22	263	-
27.1.22	188	-	28.2.22	280	-	28.3.22	271	-	28.4.22	206	-
31.1.22	289	-				31.3.22	186	-			
Maj			Junij			Julij			Avgust		
3.5.22	338	-	1.6.22	139	-	4.7.22	286	-	1.8.22	221	-
5.5.22	140	-	6.6.22	357	-	7.7.22	226	-	4.8.22	210	-
9.5.22	268	-	9.6.22	204	-	11.7.22	299	-	8.8.22	299	-
12.5.22	199	-	13.6.22	299	-	14.7.22	225	-	11.8.22	216	-
16.5.22	252	-	16.6.22	208	-	18.7.22	299	-	16.8.22	371	-
19.5.22	222	-	20.6.22	292	-	21.7.22	239	-	18.8.22	151	-
23.5.22	284	-	23.6.22	217	-	25.7.22	297	-	22.8.22	292	-
26.5.22	204	-	27.6.22	304	-	29.7.22	285	-	25.8.22	243	-
30.5.22	309	-	30.6.22	212	-				29.8.22	278	-
September			Oktober			November			December		
1.9.22	229	-	3.10.22	297	-	2.11.22	350	-	1.12.22	226	-
5.9.22	299	-	6.10.22	241	-	7.11.22	369	-	5.12.22	300	-
8.9.22	235	-	10.10.22	294	-	10.11.22	221	-	9.12.22	312	-
12.9.22	299	-	13.10.22	232	-	14.11.22	310	-	12.12.22	245	-
15.9.22	223	-	17.10.22	289	-	17.11.22	209	-	15.12.22	224	-
19.9.22	286	-	20.10.22	219	-	21.11.22	288	-	19.12.22	297	-
22.9.22	219	-	24.10.22	290	-	24.11.22	225	-	22.12.22	236	-
26.9.22	295	-	28.10.22	275	-	28.11.22	296	-	27.12.22	369	-
29.9.22	243	-							30.12.22	227	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2022 (Oznaka: 1.7D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,157
februar	0,128
marec	0,142
april	0,139
maj	0,133
junij	0,104
julij	0,129
avgust	0,078
september	0,072
oktober	0,069
november	0,088
december	0,062
Skupaj 2021	1,301



Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2022 (Oznaka: 2.1G)

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
28.01.2022	10,6	-
02.02.2022	10,6	-
13.04.2022	10,6	-
05.05.2022	10,0	-
19.09.2022	12,0	-
24.10.2022	12,0	-
15.11.2022	10,2	-
07.12.2022	10,0	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Marca, junija, julija in avgusta je bil vodnjak suh, tako da vode nismo mogli vzorčiti.

Dodatne meritve F2, IJS:

Koda vzorca: P22-VR1262-51		P22-VR1262-C1
Datum: 05. 05. 2022		07. 12. 2022
Izotop	A [Bq/m ³]	
Be-7	0,74 ± 0,49	-
K-40	53 ± 3,5	56 ± 9,5
Cs-137	0,11 ± 0,072	-
Pb-210	12 ± 0,96	-
Ra-226	2,5 ± 0,51	1,9 ± 1,2
Ra-228	1,1 ± 0,27	0,94 ± 0,73
Th-228	1,4 ± 0,12	0,79 ± 0,18
U-238	5,3 ± 0,94	3,5 ± 1,9

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save 28. 10. 2022 (Oznaka: 2.2G – 2.3G)

masa [g]	320	360
Izotop	A/m [Bq/kg]	
	pod izpustom	nad izpustom
K-40	434 ± 32	177 ± 14
Cs-137	1,49 ± 0,19	1,14 ± 0,16
Ra-226	32,4 ± 2,7	20,3 ± 1,7
Ra-228	29,9 ± 2,4	13,4 ± 1,1
Th-228	28,9 ± 2,3	11,8 ± 1,0
U-238	33,1 ± 8,4	21,5 ± 7,5

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja – 27. 9. 2022 na Z strani RC (Oznaka: 2.4G)

masa [g]	245	262	A/S [kBq/m ²] Depozit 0 – 20 cm
Izotop	A/m [Bq/kg]		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
K-40	406 ± 32	409 ± 32	-
Cs-137	46,3 ± 4,1	34,9 ± 3,1	7,05 ± 0,84
Pb-210	53,9 ± 18,2	-	-
Ra-226	75,6 ± 6,6	75,6 ± 6,5	-
Ra-228	41,1 ± 3,3	41,6 ± 3,3	-
Th-228	38,3 ± 3,2	38,5 ± 3,2	-
U-238	29,9 ± 11,2	46,5 ± 12,2	-



Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2022 (Oznaka: 2.6D – 2.9D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,047	0,077	0,084	0,084
februar	0,047	0,072	0,071	0,071
marec	0,049	0,080	0,080	0,082
april	0,048	0,068	0,081	0,079
maj	0,050	0,078	0,091	0,086
junij	0,048	0,083	0,077	0,088
julij	0,051	0,081	0,086	0,081
avgust	0,047	0,087	0,088	0,081
september	0,050	0,095	0,084	0,096
oktober	0,051	0,082	0,077	0,077
november	0,050	0,089	0,093	0,103
december	0,048	0,088	0,080	0,083
Skupaj 2021	0,584	0,980	0,992	1,011

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ 27. 9. 2022 na Z strani RC (Oznaka: 2.10IS)

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
Be-7	22,2 ± 5,3	0,74 ± 0,22
K-40	265 ± 29	-
Cs-137	27,0 ± 3,2	0,10 ± 0,21
Ra-226	82,4 ± 9,7	-
Ra-228	25,7 ± 3,0	-
Th-228	26,4 ± 2,9	-

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja – 3. 11. 2022 pred vhomom v vročo celico (Oznaka: 2.12G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
3. 11. 2022	20	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2022 (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]
03.01.2022	0						
10.01.2022	0	69,5 ± 5,6			14 ± 4,1	0,68 ± 0,34	
17.01.2022	0	54 ± 4,4		33,9 ± 3,1	20,6 ± 3,9	0,95 ± 0,37	3,81 ± 0,77
25.1.2022	10	8,38 ± 0,96	80,6 ± 13,1	379 ± 29			14,5 ± 1,5
27.1.2022	0	74,6 ± 6		1874 ± 142			93 ± 7,7
10.02.2022	0	67,2 ± 5,4	268 ± 31	2531 ± 192			116 ± 9
14.02.2022	0	66,2 ± 5,3			16,9 ± 3,5	1,12 ± 0,41	
21.02.2022	0	573 ± 44		16876 ± 1274			942 ± 70
28.02.2022	0	30,1 ± 2,6			23,2 ± 4	2,23 ± 0,47	
07.03.2022	0				18,7 ± 3,6	1,75 ± 0,38	
14.03.2022	5	21,1 ± 1,9	909 ± 83	2010 ± 152			68,3 ± 5,7
21.03.2022	0	25,2 ± 2,2			14,3 ± 3,4	1,31 ± 0,38	
28.03.2022	100	43,5 ± 3,6	276 ± 41	4078 ± 308			163 ± 13
04.04.2022	0	71,3 ± 5,7			19,7 ± 3,9	2,13 ± 0,5	
08.04.2022	0	107 ± 8		6819 ± 515			318 ± 24
20.04.2022	0	10,4 ± 1,1			24,8 ± 4,3	2,46 ± 0,45	
25.04.2022	0					0,60 ± 0,27	
04.05.2022	0						
09.05.2022	0	67,9 ± 5,4			10,6 ± 3,1		
16.05.2022	0	3,92 ± 0,69			9,00 ± 3,29		
23.05.2022	0	28 ± 2,4			7,66 ± 2,43		
30.05.2022	0	287 ± 22		18393 ± 1389			830 ± 62
06.06.2022	0	30 ± 2,6					
13.06.2022	0	16 ± 1,6			5,76 ± 2,58		
23.06.2022	0	107 ± 8			6,66 ± 3,45		
27.06.2022	0						
05.07.2022	0	1,36 ± 0,4					
11.07.2022	0	32,8 ± 2,8					
18.07.2022	0	17,6 ± 1,7			10,4 ± 2,6	1,2 ± 0,4	
25.07.2022	0	33,3 ± 2,9			16,7 ± 3,6	1,39 ± 0,39	
01.08.2022	0						
09.08.2022	0					0,97 ± 0,31	
17.08.2022	0						
22.08.2022	0	4,47 ± 0,65					
29.08.2022	0	2,54 ± 0,54					
05.09.2022	0	19,6 ± 1,8				0,61 ± 0,25	
14.09.2022	0	343 ± 26		9398 ± 710			580 ± 44
19.09.2022	0	2,27 ± 0,42					
26.09.2022	0	12 ± 1,3					
06.10.2022	0	281 ± 22		5657 ± 428			337 ± 26
10.10.2022	0	4,42 ± 0,8			5,41 ± 2,55		
17.10.2022	10W	4,85 ± 0,7					
27.10.2022	0	49,8 ± 4,1					
07.11.2022	0	4,25 ± 0,71					
14.11.2022	25mW	28 ± 2,5		10,6 ± 1,3	6,76 ± 2,98	0,6 ± 0,32	
21.11.2022	0	2,84 ± 0,54					
28.11.2022	0	66,7 ± 5,4		6652 ± 503			264 ± 20
05.12.2022	0	25,6 ± 2,2					
13.12.2022	0	15,3 ± 1,5		4,3 ± 0,79			
19.12.2022	0						
28.12.2022	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]
03.01.2022	0	1,85 ± 0,41	0,85 ± 0,37	2,41 ± 0,42		
10.01.2022	0	2,77 ± 0,56		22,6 ± 2,6	1,15 ± 0,47	7,67 ± 1,47
17.01.2022	0	2,85 ± 0,52	1,45 ± 0,33	7,65 ± 0,96	0,67 ± 0,39	
25.1.2022	0			2,32 ± 0,47		
27.1.2022	0			2,24 ± 0,69		
10.02.2022	0					
14.02.2022	0	2,75 ± 0,54		4,95 ± 0,68		6,22 ± 1,35
21.02.2022	0			3,85 ± 1,72		46,9 ± 13,9
28.02.2022	0	3,33 ± 0,54	1,3 ± 0,29	11,9 ± 1,4		4,07 ± 1,51
07.03.2022	0	3,52 ± 0,51		2,67 ± 0,44		
14.03.2022	5		1,14 ± 0,39	5,45 ± 0,92		
21.03.2022	0	2,59 ± 0,49	2,66 ± 0,38	4,18 ± 0,58		
28.03.2022	100	2,32 ± 1,24	2,93 ± 0,69	2,29 ± 0,9		
04.04.2022	0	3,93 ± 0,68		5,96 ± 0,78	1,68 ± 0,51	5,62 ± 1,25
08.04.2022	0	2,68 ± 1,43		4,83 ± 1,2		13,2 ± 6,2
20.04.2022	0	4,27 ± 0,59	1,58 ± 0,32	10,1 ± 1,2	1,5 ± 0,49	
25.04.2022	0	1,08 ± 0,4		3,01 ± 0,49		
04.05.2022	0	0,69 ± 0,28	0,79 ± 0,35			
09.05.2022	0	2,57 ± 0,54	2,75 ± 0,43	7,65 ± 0,96	1,87 ± 0,66	6,38 ± 1,33
16.05.2022	0	2,04 ± 0,45	3,21 ± 0,41	3,26 ± 0,6		
23.05.2022	0	2,74 ± 0,5	2,13 ± 0,38			
30.05.2022	0			5,67 ± 1,58		25,8 ± 6,1
06.06.2022	0	1,2 ± 0,35		6,85 ± 0,95		
13.06.2022	0	1,86 ± 0,4		4,22 ± 0,57		
23.06.2022	0	2,41 ± 0,57		5,81 ± 0,82		9,01 ± 1,42
27.06.2022	0			1,95 ± 0,38		
05.07.2022	0	0,76 ± 0,29				
11.07.2022	0	2,22 ± 0,41		3,78 ± 0,61		3,74 ± 1,83
18.07.2022	0	3,34 ± 0,54		6,72 ± 0,9		
25.07.2022	0	3,13 ± 0,49	1,67 ± 0,41	3,88 ± 0,59	1,66 ± 0,58	2,41 ± 1,3
01.08.2022	0	1,81 ± 0,38		1,61 ± 0,32		
09.08.2022	0					
17.08.2022	0					
22.08.2022	0					
29.08.2022	0	1,25 ± 0,29				
05.09.2022	0	0,96 ± 0,35		3,71 ± 0,56		
14.09.2022	0					33,5 ± 7,2
19.09.2022	0		1,02 ± 0,37	1,05 ± 0,34		
26.09.2022	0	1,85 ± 0,42		6,33 ± 0,99		
06.10.2022	0			7,97 ± 1,49		16,6 ± 3,7
10.10.2022	0	1,68 ± 0,36		3,52 ± 0,68		
17.10.2022	10W	0,78 ± 0,28		0,9 ± 0,27		
27.10.2022	0			1,79 ± 0,38		2,97 ± 0,99
07.11.2022	0			1,5 ± 0,37		
14.11.2022	25mW	2,77 ± 0,49		11,5 ± 1,4	1,27 ± 0,49	2,86 ± 0,88
21.11.2022	0			2,58 ± 0,44		
28.11.2022	0					
05.12.2022	0	0,74 ± 0,29		3,06 ± 0,48		
13.12.2022	0					
19.12.2022	0					
28.12.2022	0					

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 2022 (Oznaka: 3.2G)

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
06.01.2022	-
21.02.2022	-
08.03.2022	-
12.04.2022	-
25.05.2022	-
20.06.2022	-
13.07.2022	-
24.08.2022	-
01.09.2022	-
04.10.2022	-
09.11.2022	-
28.12.2022	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2022 (Oznaka: 3.3G)

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost [Bq/kg]
03.01.2022	6,0	-
02.02.2022	6,0	-
03.03.2022	6,0	-
04.04.2022	6,0	-
11.05.2022	6,0	-
08.06.2022	6,0	-
05.07.2022	6,0	-
01.08.2022	6,0	-
08.09.2022	6,0	-
11.10.2022	6,0	-
08.11.2022	6,0	-
05.12.2022	6,0	-



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* (SVPIS-R-DN-31), [4]. Vzorci se merijo po postopku *Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama* (ELME-DN-17), [5]. Metoda meritve tekočinskih vzorcev, zemeljskih vzorcev in filtrov je akreditirana pri Slovenski akreditaciji (SA) pod zaporedno številko LP-022 skladno s standardom SIS 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]. Metoda je akreditirana pri Slovenski akreditaciji (SA) pod zaporedno številko LP-022 skladno s standardom SIS 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. Metoda je bila akreditirana pri Slovenski akreditaciji (SA) pod zaporedno številko LP-022.



5.5 Orientacijske spodnje detekcijske meje in način poročanja za VLG spektrometrijo

Spodnjo detekcijsko mejo (MDA) 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 detektorja *Gray* (b05148) in *Becquerel* (b14117).

MEDIJ	Voda		Zrak		Zemlja	
Velikost vzorca	240 mL		200 m ³		240 mL	
Enota	[Bq/kg]		[Bq]		[Bq/kg]	
Detektor	<i>Gray</i>	<i>Becquerel</i>	<i>Gray</i>	<i>Becquerel</i>	<i>Gray</i>	<i>Becquerel</i>
Na-24	2,42	2,00	0,20	0,16	2,06	0,74
Ar-41	3,45	3,31	0,29	0,23	3,49	0,04
Cr-51	12,9	11,80	0,86	0,77	14,1	7,93
Mn-54	2,09	1,71	0,16	0,13	2,02	0,59
Co-58	2,06	1,75	0,15	0,11	1,93	0,97
Co-60	2,28	1,84	0,20	0,16	1,99	1,08
Zn-65	5,42	4,16	0,41	0,33	5,70	2,99
I-131	1,73	1,47	0,11	0,10	1,72	0,96
Cs-137	2,26	1,79	0,15	0,12	1,71	0,72
K-40	41,0	33,40	3,50	2,56	29,8	18,20
Ra-226	2,93	3,71	0,26	0,23	3,84	2,67
Ra-228	8,42	6,77	0,70	0,52	7,53	4,29
Th-228	2,68	2,77	0,17	0,19	2,39	1,58
U-238	18,1	23,20	1,03	1,27	20,8	16,60

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.

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 2022 smo sodelovali na dveh mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2021, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2022.

NPL Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2021

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, višje koncentracije

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Mn-54	5,02 ± 0,40	5,091 ± 0,029	ustreza
Co-60	2,30 ± 0,13	2,390 ± 0,010	ustreza
Zn-65	2,57 ± 0,17	2,612 ± 0,023	ustreza
Ba-133	26,3 ± 1,7	28,260 ± 0,200	ustreza
Cs-137	29,7 ± 3,1	39,720 ± 0,290	ustreza



Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, nižje koncentracije

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Cs-134	10,64 ± 0,73	10,60 ± 0,08	ustreza
Cs-137	6,87 ± 0,64	6,73 ± 0,06	ustreza
Am-241	24,2 ± 2,8	23,830 ± 0,100	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 SVPIS. 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. Vodni vzorec z nižjimi koncentracijami radionuklidov smo pripravili v akreditirani geometriji. Uradni rezultati so zbrani v NPL poročilu [15].

IAEA-TERC-2022-02 ALMERA proficiency test exercise 2022

Vsebnost umetnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Co-60	17,0 ± 1,2	17,7 ± 1,1	ustreza
Cs-134	15,7 ± 1,2	15,9 ± 1,0	ustreza
Cs-137	22,9 ± 2,0	24,2 ± 1,5	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v drugem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Cs-137	5,14 ± 0,87	8,36 ± 0,50	ustreza
Am-241	10,1 ± 1,5	10,1 ± 0,6	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v tretjem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Cs-134	11,9 ± 1,0	12,1 ± 0,7	ustreza
Cs-137	22,2 ± 1,9	22,6 ± 1,4	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na vzorcu simulirane kontaminirane površine

Izotop	A [Bq]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Cs-137	0,32 ± 0,03	0,332 ± 0,048	ustreza

Vsi rezultati umetnih radionuklidov tako v vodnih vzorcih kot na vzorcu kontaminirane površine se dobro ujemajo z referenčnimi rezultati, poročanimi z IAEA [16].

5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2022 smo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu. (Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2022, Ronneburg, Nemčija [13]). Pregled rezultatov meritev hitrosti doze na merilnem območju, predvidenem za uporabo posameznega merilnika, kaže dobro ujemanje znotraj 20 %.



Na reaktorskem centru so bile izvedene primerjalne meritve hitrosti doze PRIMER, kjer so rezultati potrdili ustreznost meritev [12]. Meritve so bile izvedene na višini 1 m nad travnikom v različnih poljih sevanja. Pregled rezultatov meritev hitrosti doze kaže dobro ujemanje.

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti [11] smo v letu 2022 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščne organizacije (ZVD). Primerjali smo tri zaporedne mesečne termoluminiscenčne dozimetre, obsevane v dimniku reaktorja. Vsak mesec od septembra do novembra smo hkrati obsevali tri dozimetre – enega IJS in dva ZVD. ZVD je poročal povprečje obeh dozimetrov.

Obdobje izpostavljenosti	H*(10)/30 dni [mSv]		H _{IJS} /H _{ZVD}	u-test
	IJS	ZVD		
1.9.22-3.10.22	0,072 ± 0,007	0,061 ± 0,006	1,18	1,17
3.10.22-3.11.22	0,069 ± 0,007	0,056 ± 0,006	1,23	1,46
3.11.22-5.12.22	0,088 ± 0,006	0,071 ± 0,007	1,24	1,50

Opažamo sistematično odstopanje okoli 20 % med rezultati meritev IJS in ZVD. Rezultate smo primerjali z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|H_{IJS} - H_{ZVD}|}{\sqrt{u_{IJS}^2 + u_{ZVD}^2}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_{IJS} in u_{ZVD} negotovosti meritev. V okviru u-testa se rezultati za vse tri dozimetre ujemajo.



6 Referenčna dokumentacija

1. Tedenska in mesečna poročila o rezultatih meritev vzorcev v okviru programa obratovalnega monitoringa
2. Mesečna poročila o rezultatih okoljske dozimetrije, 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, ZVISJV-1A in ZVISJV-1B) (Ur.l. RS št. 76/17, 26/19 in 18/23)
9. Uredba o sevalnih dejavnostih, UV1 (Ur.l. RS št. 19/18)
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 2022, IJS-DP-14233, 2022
13. Primerjalne meritve hitrosti doze 2022, Ronneburg, Nemčija, IJS-DP-14254, 2022
14. Radiološki pregled virov sevanja, Reaktorski infrastrukturni center, 27/22-N, 2022
15. NPL Report IR 61, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2021 – Final Report, van Es et. al., 2022
16. IAEA-TERC-2022-02 ALMERA Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report Part I, 2022
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