

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



POROČILO ZA LETO 2021

Interna oznaka poročila: 1/22-N
Leto izdaje: 2022 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	16.02.2022	





<i>Naročnik</i>	Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS)
<i>Izvajalec del:</i>	Institut "Jožef Stefan" – Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS)
<i>Naslov poročila:</i>	MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS, POROČILO ZA LETO 2021
<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-13718
<i>Kopije:</i>	Arhiv SVPIS RIC URSJV URSVS Knjižnica IJS
<i>Slika na naslovni strani:</i>	Pogled na reaktor z južne strani, foto: T. 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
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	8
3	OVREDNOTENJE MERITEV	9
3.1	MERITVE IZPUSTOV	9
3.2	MERITVE V OKOLJU.....	11
3.3	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN.....	16
4	OCENA VPLIVOV	18
4.1	ATMOSFERSKI IZPUSTI	18
4.2	TEKOČINSKI IZPUSTI	21
5	MERSKI REZULTATI.....	23
5.1	PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA.....	23
5.2	PREGLED TABEL	25
5.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN	34
5.4	MERSKE METODE.....	34
5.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO.....	35
5.6	PRIMERJALNE MERITVE.....	35
5.7	NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA.....	37
6	REFERENČNA DOKUMENTACIJA	38



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 2021 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 1,1 TBq, kar je primerljivo z izpusti v letu 2019 (1,2 TBq) po padcu v letu 2020 (0,7 TBq), ko je bilo bistveno nižje število obratovalnih ur reaktorja. 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 μ Sv, kar je primerljivo z letom 2020.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je nemerljiva, saj v letu 2021 v izpustih nismo izmerili nobenega umetnega radionuklida.

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 μ Sv na leto.



1 Uvod

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2021 opravljene po Programu obratovalnega monitoringa sevanja v okolici Reaktorskega centra IJS. Program je opredeljen v *Varnostnem poročilu za TRIGA Mark II v Podgorici, revizija 7, 2017* (IJS-DP-10675). 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). 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 Reaktorski center 50 μSv na leto.

V letu 2021 je na reaktorskem 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 739 ur, kar je 56 % več kot v letu 2020, vendar le 2 % več kot v letu 2019. Povpraševanje po obsevalnih urah se je spet stabiliziralo po zmanjšanju zaradi epidemije v letu 2020.

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 Reaktorskem 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 Reaktorskega 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 Reaktorskega 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 reaktorskih 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

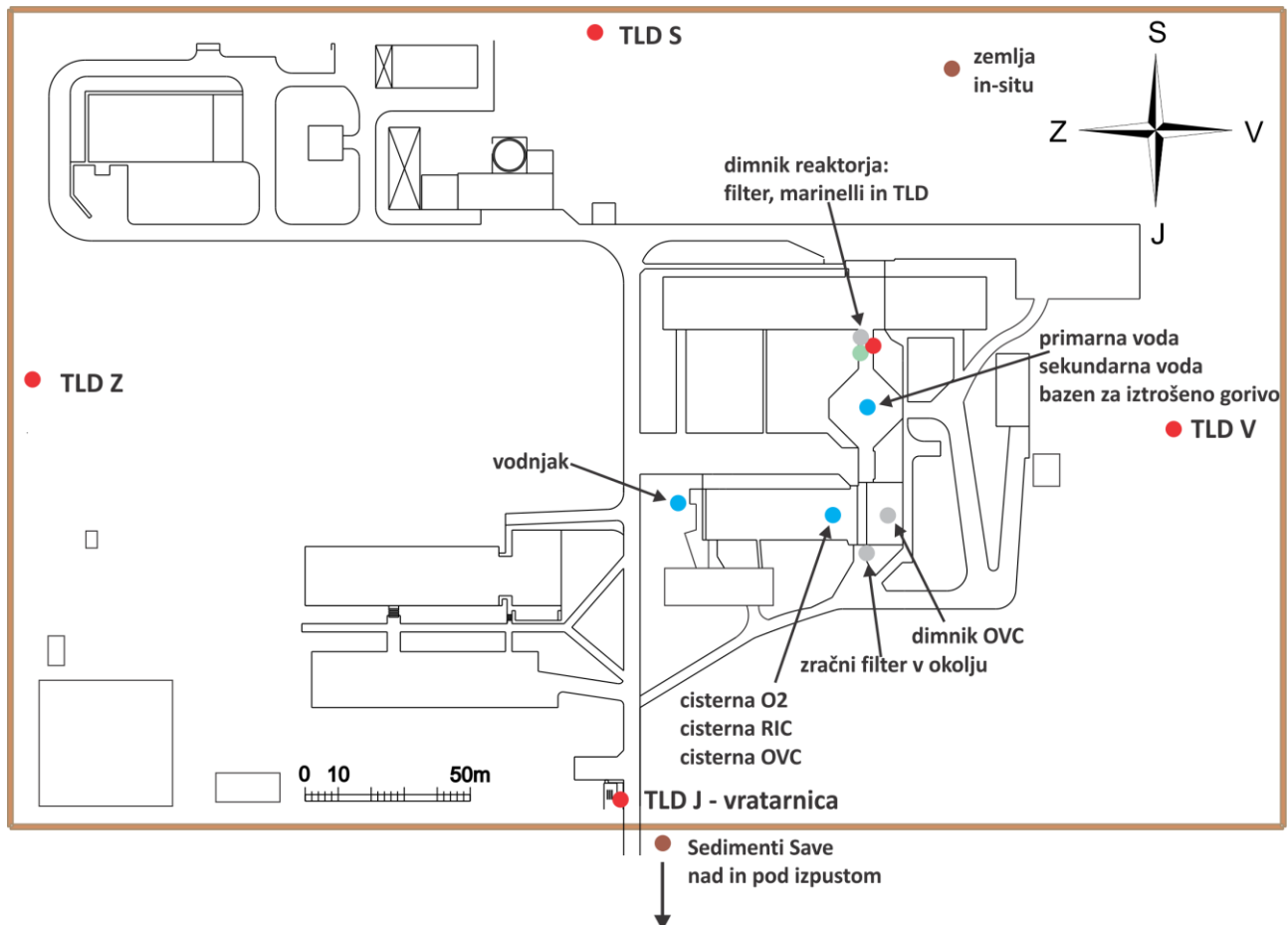


laboratorija za izvajanje nadzornih meritev potrjujemo s primerjalnimi meritvami (poglavje 5.6) in z neodvisnim nadzorom obratovalnega monitoringa (poglavje 5.7).



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). Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1. Večina vzorčevalnih mest je znotraj ograje Reaktorskega centra. Zemljo smo letos vzorčili na travniku severo vzhodno od reaktorja (koordinate N 46.094893 in E 14.598883), vzorčenje savskega sedimenta pa se izvaja izven ograje Reaktorskega centra ob izpustnem kanalu tekočinskih odpadkov v reko Savo (koordinate N 46.086406 in E 14.595570).



Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Reaktorskem centru v letu 2021



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 zunanjega 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 2021 so združeni v tabelah M1 in M2. Letos nismo ne v cisterni O-2 ne v cisterni drenaže reaktorja zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov. Cisterna reaktorja je bila v letu 2021 izčrpana trikrat. 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 odvezamo trenutni plinski vzorec (marinelli). 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 tangencialnih 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 2021 je bila 165 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila izmerjena v juliju 246 kBq/m³. Kratkotrajno povišanje vrednosti na ta dan smo zaznali tudi s kontinuirnim merilnikom LB111 na vzhodni merilni točki (slika 7), vendar vrednosti niso presegle mejne vrednosti za nenormalni dogodek 1 μSv/h, določene v dokumentu *Načrt ukrepov v primeru izrednega dogodka (U1-QA-211)*. Povečanje je posledica trenutne spremembe režima prezračevanja. Povprečna vrednost je zaradi naključnega vzorčenja argona v juliju v času dvournega povišanja koncentracije še nekoliko višja kot v prejšnjih letih (158 kBq/m³ v letu 2020, 150 kBq/m³ v letu 2019 in 2018 ter 154 kBq/m³ v letu 2017), vendar pa je povprečje ostalih mesecev (brez povišane vrednosti v juliju) primerljiva s s preteklimi povprečji (157 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 10^{12} n $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 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.

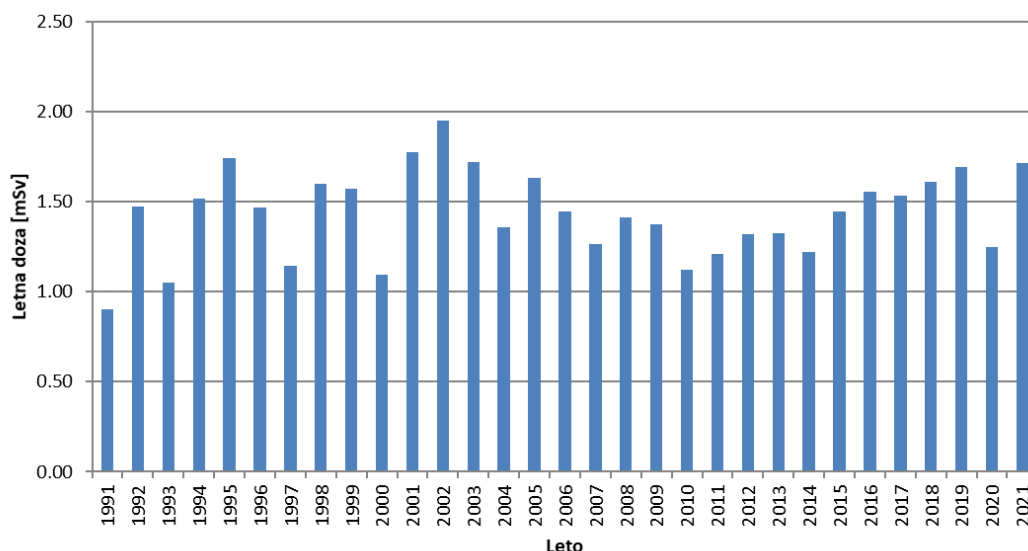
Na filtrih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2021 nekajkrat zaznali prisotnost Na-24 in Br-82 nizkih aktivnosti, večinoma primerljivih z mejo detekcije. V tem letu nismo zaznali prisotnosti drugih radionuklidov, vendar lahko v prihodnosti še vedno pričakujemo občasno prisotnost npr. Sb-122 ali Sb-124. V letu 2017 se je namreč med obsevanjem v obsevalnem kanalu vrtiljaka poškodovala kapsula standardnega vodnega vzorca, pripravljene za nevtronsko aktivacijsko analizo, zaradi česar so v obsevalnem kanalu ostali sledovi vzorca. Rezultati meritev zračnih filtrov v dimniku reaktorja in v vročih celicah so zbrani v tabelah M4 in M5.

3.1.3 Zunanje sevanje

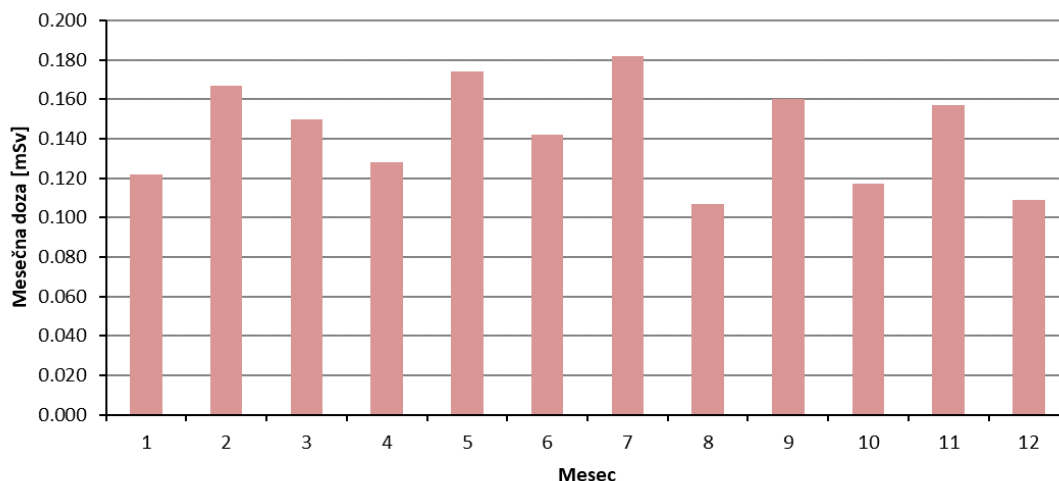
V dimniku reaktorja je nameščen TLD, katerega doza je korelirana s trajanjem in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega polurni odčitki so predstavljeni na sliki 7 in podrobneje opisani v poglavju 3.2.4.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2021 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 2021 je bila skupna letna doza TLD 1,7 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 (1,7 mSv v 2021, 1,7 mSv v letu 2019 in 1,6 mSv v 2018), kar je povezano s povečevanjem obratovalnih ur delovanja reaktorja. Nižja vrednost letne doze je le leta 2020 zaradi epidemije.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2021



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2021 (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). Poleg rednih mesečnih meritev vzorcev vode iz vodnjaka so v letu 2021 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 2021 izmerjene koncentracije Cs-137 0,7 Bq/kg nad in 1,0 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 v letu 2021 nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov.

3.2.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku severno od objekta Fizika na severovzhodni strani reaktorja (tabela M9). Vzorčenje smo izvedli s "corerjem" (slika 4) in naredili analizo za dve globini. Vsebnosti



naravnih radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost Cs-137 v zgornji plasti 31 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 v okolici meteorološke postaje, neposredno ob dozimetru na zahodni kontrolni točki. Izmerjena aktivnost je bila 111 Bq/kg.

V letu 2021 sta vrednosti za zgornjo plast (0-10 cm, 31 Bq/kg) in spodnjo plast (10-20 cm, 31 Bq/kg) enaki, cezij je do globine 20 cm enakomerno porazdeljen. Po globalni kontaminaciji Cs-137 počasi prodira s površine v globlje plasti.



Slika 4: Vzorčenje zemlje SV od reaktorja, 21. 9. 2021

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

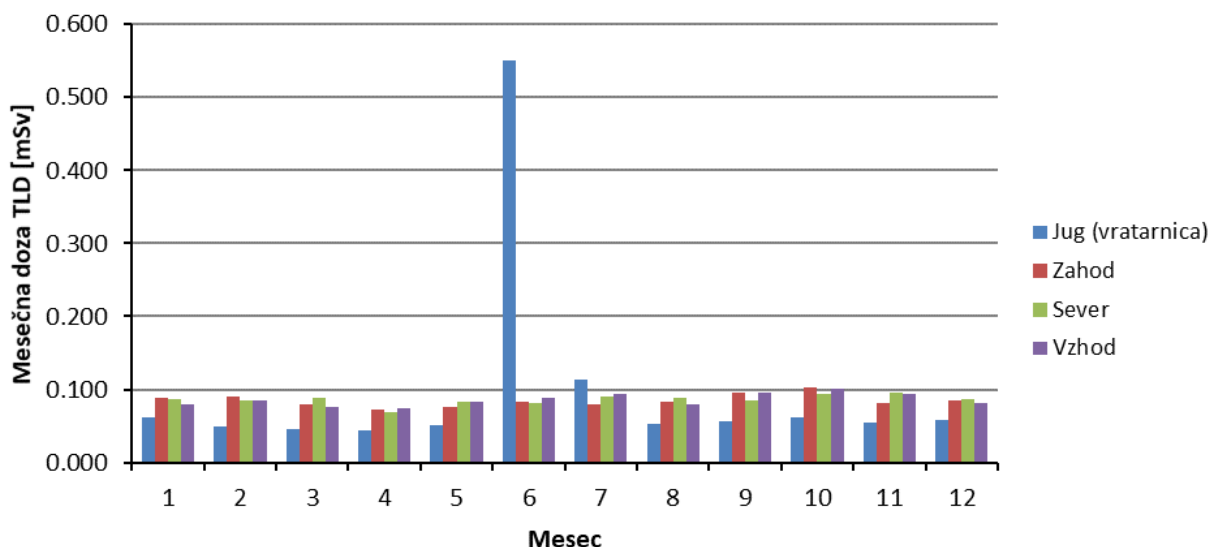
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	Ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

Na vzhodnem merilnem mestu (TLD-vzhod) poteka tudi kontinuirna meritev hitrosti doze z detektorjem Berthold LB111.

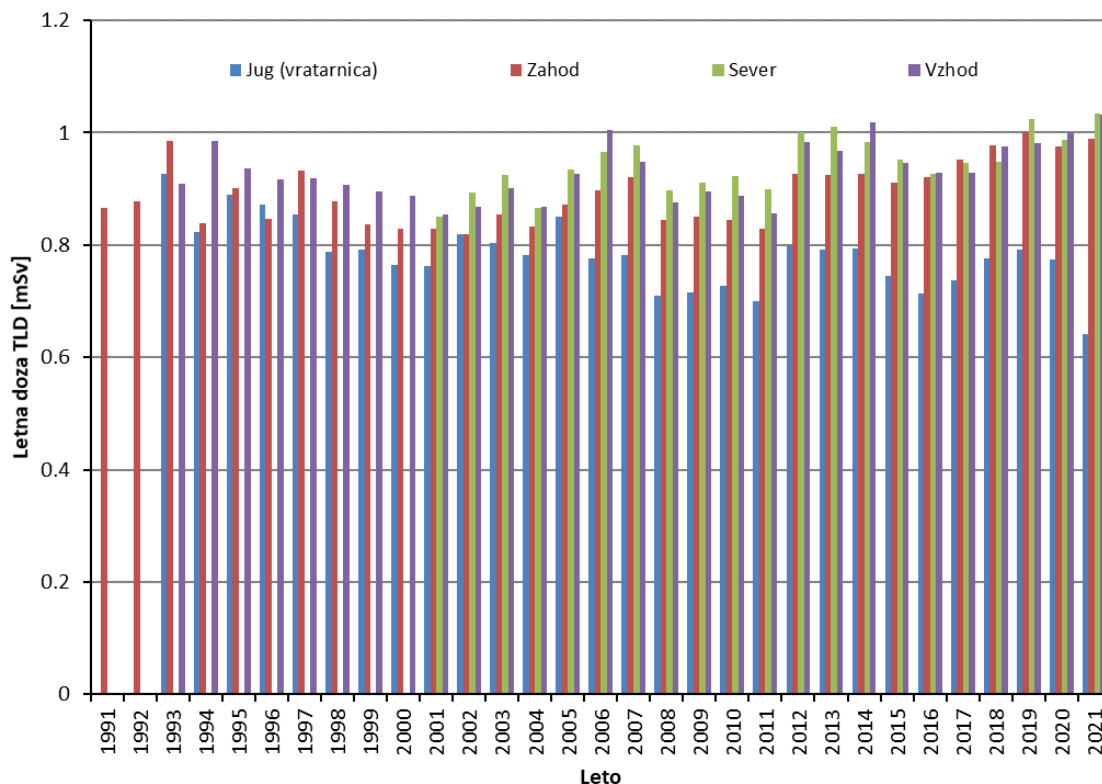
Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2021 so na sliki 5 in v tabeli M10 in letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev na sliki 6. Večina vrednosti je na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,08 mSv/mesec oziroma 1 mSv/leto). V letu 2021 izstopata povišani vrednosti južne kontrolne točke ob vratarnici za meseca junij in julij. Vrednosti nista



povišani zaradi vpliva reaktorja, temveč zaradi prisotnosti zaposlene osebe po terapiji ščitnice z jodom. Če izpustimo omenjeni meritvi, so razlike med posameznimi točkami zanemarljive, nekoliko izstopa le dozimeter na južni strani reaktorskega centra. Ker je dozimeter postavljen ob vratarnici, so njegove vrednosti vedno nekoliko nižje od ostalih dozimetrov, ki so postavljeni nad zemljo.



Slika 5: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2021 (Oznaka 2.6D – 2.9D). Vrednost za junij (in julij) na južni merilni točki je povečana zaradi prisotnosti osebe po terapiji z jodom.

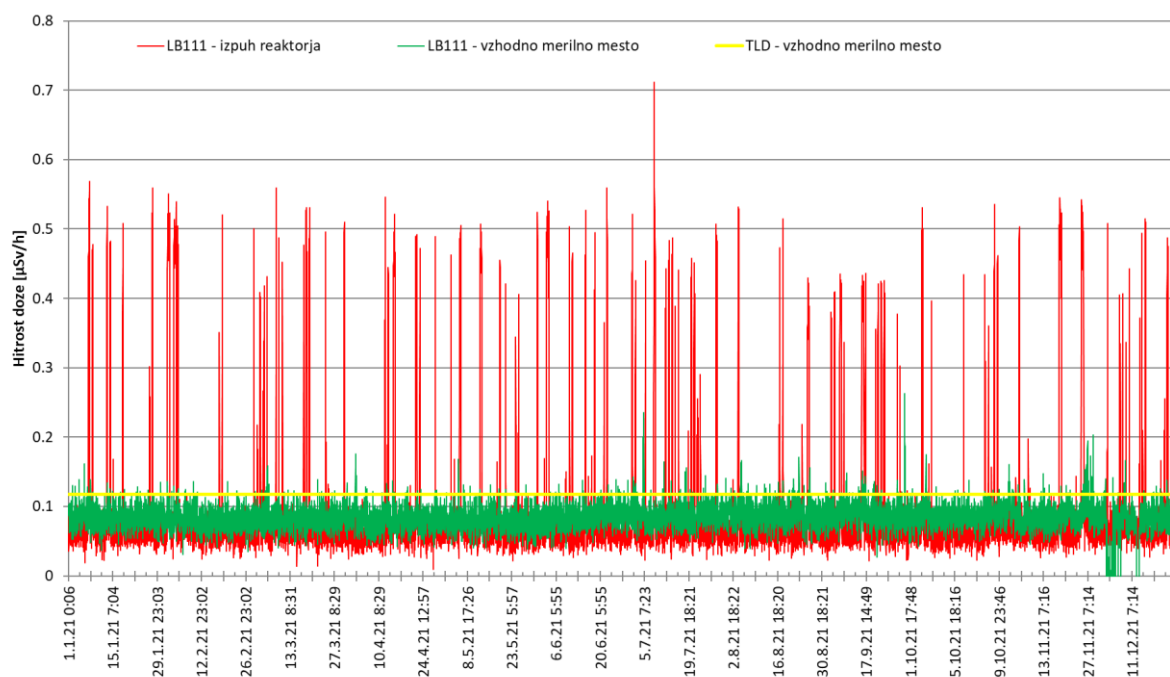


Slika 6: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2021. Za vrednost za južno merilno točko (vratarnica) smo namesto dveh povišanih vrednosti – zaradi prisotnosti osebe po terapiji z jodom – upoštevali povprečje ostalih desetih mesecev (podrobnosti v tabeli M10).



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

- Do opaznih povečanj zunanjega 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).
- Najvišja vrednost hitrosti doze na izpuhu reaktorja je bila izmerjena 8. 7. 2021, ko smo izmerili tudi najvišjo vrednost koncentracije Ar-41 v dimniku. Povišanje je posledica trenutne spremembe ventilacijskega režima in je trajalo približno dve uri, vrednosti pa niso presegle meje za nenormalni dogodek 1 $\mu\text{Sv/h}$, skladno z dokumentov *Načrt ukrepov v primeru izrednega dogodka* (U1-QA-211).
- Konec novembra in začetek decembra merilnik na vzhodnem merilnem mestu občasno ni deloval zaradi tehnične napake, ki smo jo v kratkem odpravili.
- Rahla povečanja zunanjega 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 (okoli 0,05 $\mu\text{Sv/h}$) nižje 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).



Slika 7: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2021 – kontinuirni merilnik Berthold LB111 in 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 ugotavljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je



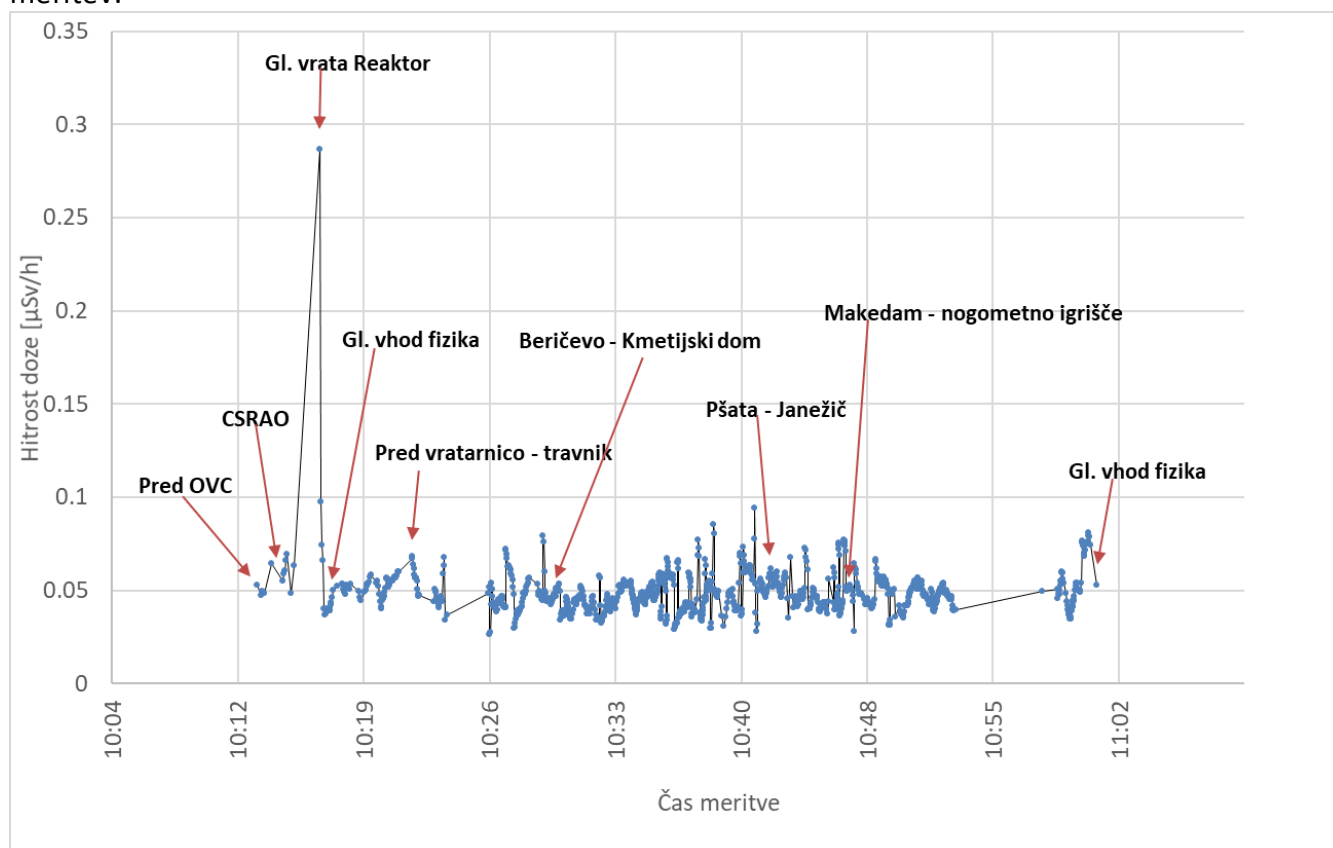
bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj Reaktorskega centra ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju Reaktorskega centra.

Spektrometrijo gama in-situ smo izvedli s prenosnim HPGe spektrometrom na travniku severovzhodno 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). 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 enake kot smo jih izmerili v preteklem letu na isti lokaciji. Vrednost za Cs-137 ob predpostavki enakomerne porazdelitve je za leto 2021 20 Bq/kg in za leto 2020 19 Bq/kg.

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 slikah 8 in 9. Pred glavnimi transportnimi vrati v reaktor smo zaznali nekoliko povišane nivoje sevanja (0,29 $\mu\text{Sv/h}$). Ostale 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 (21. 9. 2021) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (Oznaka: 2.11HD)



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra 21. 9. 2021 (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/m³. K njej prispevajo aktivacijski produkti. V letu 2021 smo v primarni vodi zaznali Na-24, Mg-27, Ar-41, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-58, Fe-59, Co-60, Zn-65, Tc-99m, Sb-122, Sb-124, I-131, I-133 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. Letos smo v primarni vodi dvakrat zaznali fisijske produkte – enkrat I-131 in enkrat I-133 – obakrat pod mejo detekcije. Ker se fisijski produkti kasneje niso več pojavili, ni videti, da bi bil kakšen gorivni element poškodovan, kljub temu pa podrobno spremljamo rezultate, če se bodo fisijski produkti še kdaj pojavili.

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 2021 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 so bili 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.



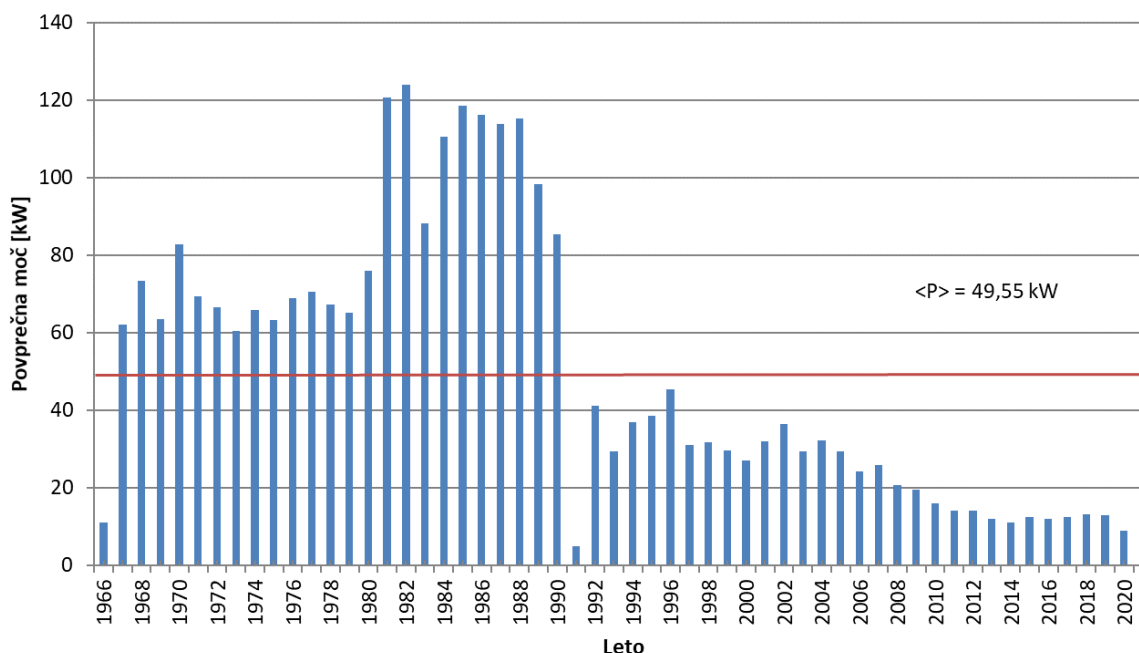
4 Ocena vplivov

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, revizija 7, 2017* (IJS-DP-10675).

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 2021 je bil 4 m³/s. V letu 2021 je bila povprečna izmerjena aktivnost Ar-41 165 kBq/m³ in s tem hitrost izpuščanja 0,62 MBq/s pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2021 je bila 14,6 kW (slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) 36 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 1,1 TBq (0,7 TBq v 2020 in 1,2 TBq v 2019).



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2021, $\langle P \rangle$ 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 in Br-82 (tabela M4) z največjo izmerjeno aktivnostjo 12 Bq Na-24 in 1,2 Bq Br-82 na filter, kar je približno 0,05 Bq/m³ za Na-24 in 0,01 Bq/m³ za Br-82. 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.

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* [16],
- povprečna hitrost vetra je 1 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 Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira, upoštevan izpust Ar-41 je 36 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]	363	18
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E [m^{-2}]	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	725	36

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: $5,3E-3 \mu Sv \text{ dan}^{-1} / Bq \text{ m}^{-3}$ [17]
- 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* [16]
- predpostavili smo, da veter piha 10 % časa v smeri najbližjega naselja Pšata (dolgoletno povprečje),
- 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:

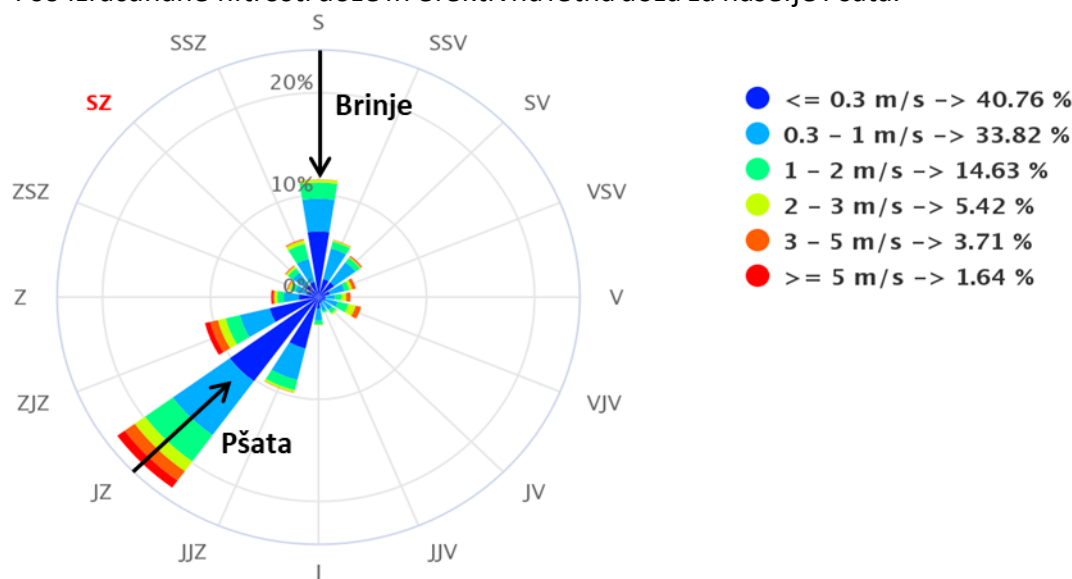
$$E_{im} = \chi \cdot D_{im}(Ar) \cdot R \cdot t \cdot d,$$

kjer je:

- χ koncentracija Ar-41 v zraku,
- $D_{im}(Ar)$ 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 2021 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je veter tudi v letu 2021 najpogosteje pihal proti SV (v smeri proti naselju Pšata), kamor je pihal 23 % časa s hitrostjo v povprečju 1,0 m/s. Doze smo zaradi primerljivosti s prejšnjimi leti računali ob upoštevanju privzetih vhodnih parametrov za najbližje naselje Pšata (10 % časa v smeri Pšate in hitrost vetra 1 m/s) in ne na podlagi realnih letnih podatkov meteorološke postaje.

V tabeli 4 so izračunane hitrosti doze in efektivna letna doza za naselje Pšata.



Slika 11: Roža vetrov za leto 2021

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	2,40 E-4	5,60 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,49
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	4,80 E-4	8,01 E-5
	Letna doza [μSv]	0,03	0,70
Povprečje D in E		0,02	0,60

Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je efektivna letna doza 0,02 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza



0,60 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 2021 v cisternah O-2 in RIC nismo zaznali umetnih radionuklidov (tabeli M1 in M2), cisterna OVC je bila tudi v letu 2021 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:

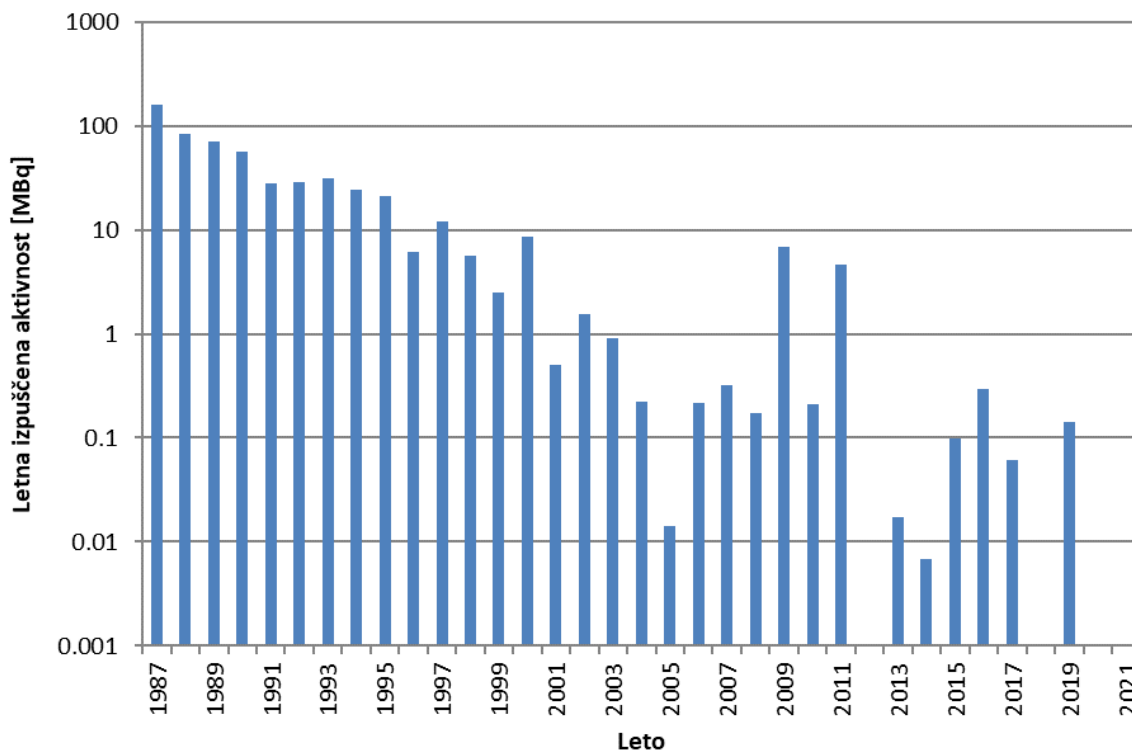
- A_i letna izpuščena aktivnost izotopa i ,
- ϕ povprečni pretok Save (58 m^3/s^*),
- t_{izp} trajanje izpusta (okrog 2 h),
- V_1 količina zaužite vode v enem letu (0,75 m^3/leto),
- $DF_{\text{ing},i}$ dozni faktor za ingestijo izotopa i .

*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 2021 četrtič odkar merimo (prvič leta 2012, drugič leta 2018 in tretjič leta 2020) v izpustih iz cisterne O2 (tabela M1, slika 12) nismo zaznali umetnih radionuklidov. Letna ingestijska doza je 0 μSv (tabela 5). **Preko te prenosne poti ni bilo prejete efektivne letne doze.**

Tabela 5: Ocenjena letna doza zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	D_{ing} [Sv/Bq]*	E [nSv]
Skupaj	-	-	0



Slika 12: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2021



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) 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 in je bil v letu 2013 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	izpusna 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	vročica 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	pri marna 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 2021 (Oznaka: 1.1G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
04.01.2021	8,58	7,0	-	15.07.2021	7,33	7,0	-
11.01.2021	5,46	7,0	-	26.07.2021	6,93	7,0	-
18.01.2021	4,62	7,0	-	02.08.2021	5,10	7,0	-
25.01.2021	4,93	7,0	-	16.08.2021	9,41	7,0	-
09.02.2021	9,37	7,0	-	23.08.2021	5,16	7,0	-
22.02.2021	8,80	7,0	-	30.08.2021	4,70	7,0	-
08.03.2021	9,70	7,0	-	15.09.2021	10,63	7,0	-
15.03.2021	5,23	7,0	-	27.09.2021	6,91	7,0	-
22.03.2021	4,45	7,0	-	11.10.2021	8,13	7,0	-
29.03.2021	5,15	7,0	-	18.10.2021	4,85	7,0	-
12.04.2021	8,67	7,0	-	25.10.2021	5,16	7,0	-
03.05.2021	13,45	7,0	-	08.11.2021	9,53	7,0	-
24.05.2021	12,73	7,0	-	15.11.2021 ¹⁴	4,88	7,0	-
31.5.2021	4,90	7,0	-	22.11.2021	5,31	7,0	-
07.06.2021	4,90	7,0	-	29.11.2021	6,84	7,0	-
14.06.2021	4,83	7,0	-	06.12.2021	5,65	7,0	-
21.06.2021	4,75	7,0	-	13.12.2021	5,68	7,0	-
05.07.2021	8,73	7,0	-	27.12.2021	9,19	7,0	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M2: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2021 (Oznaka: 1.2G)

Datum vzorčenja – Cisterna RIC	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
07.07.2021	3,06	7,5	-
02.08.2021	3,17	7,5	-
16.09.2021	3,03	7,5	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2021 nismo nikoli praznili.

Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2021 (Oznaka: 1.3G)

Datum vzorčenja	P _{reaktorja} [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
07.01.2021	250	165 ± 11
04.02.2021	250	156 ± 11
09.03.2021	250	168 ± 12
15.04.2021	250	163 ± 11
06.05.2021	250	153 ± 11
23.06.2021	250	158 ± 11
08.07.2021	250	245 ± 17
04.08.2021	250	160 ± 11
16.09.2021	250	124 ± 9
28.10.2021	250	166 ± 11
18.11.2021	250	166 ± 11
16.12.2021	250	151 ± 10
Povprečje:	250	165



Tabela M4: Meritve aktivnostifiltrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2021 (Oznaka: 1.4G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar				Februar			Marec		
		Na-24	Br-82			Na-24			Na-24
4.1.21	221	-	-	1.2.21	220	-	1.3.21	195	-
7.1.21	201	5,5 ± 0,7	-	4.2.21	178	1,2 ± 0,4	4.3.21	187	-
11.1.21	231	-	-	9.2.21	296	-	8.3.21	236	-
14.1.21	174	1,1 ± 0,2	-	11.2.21	144	-	11.3.21	195	1,6 ± 0,3
18.1.21	201	-	-	15.2.21	249	-	15.3.21	264	-
21.1.21	161	-	-	18.2.21	173	-	18.3.21	202	1,5 ± 0,3
25.1.21	238	-	-	22.2.21	242	-	22.3.21	238	-
28.1.21	192	0,8 ± 0,2	-	25.2.21	181	-	25.3.21	220	0,5 ± 0,2
							29.3.21	225	-
April				Maj			Junij		
1.4.21	183	0,4 ± 0,2	-	3.5.21	280	2,0 ± 0,4	2.6.21	153	-
6.4.21	301	-	-	6.5.21	202	3,5 ± 0,6	7.6.21	343	-
8.4.21	147	-	-	10.5.21	274	-	10.6.21	211	-
12.4.21	265	-	-	13.5.21	203	1,8 ± 0,5	14.6.21	258	-
15.4.21	224	12,1 ± 1,2	1,2 ± 0,2	17.5.21	290	-	17.6.21	224	0,3 ± 0,2
19.4.21	262	-	-	20.5.21	227	1,1 ± 0,2	21.6.21	273	-
22.4.21	222	6,6 ± 0,6	-	24.5.21	277	-	24.6.21	196	-
26.4.21	264	0,7 ± 0,2	-	27.5.21	208	-	28.6.21	269	-
29.4.21	199	2,3 ± 0,3	-	31.5.21	268	-			
Julij				Avgust			September		
1.7.21	210	-	-	2.8.21	234	-	2.9.21	204	-
5.7.21	260	-	-	5.8.2021	199	4,2 ± 0,6	6.9.21	264	-
8.7.21	222	1,9 ± 0,4	-	9.8.2021	276	-	9.9.21	189	-
12.7.21	256	-	-	12.8.21	178	-	13.9.21	240	-
15.7.21	197	-	-	16.8.21	269	-	16.9.21	180	-
19.7.21	265	-	-	19.8.21	192	-	20.9.21	261	-
23.7.21	265	-	-	23.8.21	289	-	23.9.21	216	-
26.7.21	199	-	-	26.8.21	209	-	27.9.21	257	-
29.7.21	197	-	-	30.8.21	290	-	30.9.21	205	-
Oktober				November			December		
4.10.21	258	-	-	2.11.21	226	-	2.12.21	172	-
7.10.21	197	1,0 ± 0,2	-	4.11.21	123	-	6.12.21	235	-
11.10.21	276	-	-	8.11.21	232	-	9.12.21	191	-
14.10.21	185	-	-	11.11.21	194	-	13.12.21	184	-
18.10.21	231	-	-	15.11.21	227	-	16.12.21	120	-
21.10.21	181	-	-	18.11.21	157	-	20.12.21	185	-
25.10.21	259	-	-	22.11.21	209	-	22.12.21	107	-
28.10.21	156	-	-	25.11.21	187	-	27.12.21	232	-
				29.11.21	204	-	29.12.21	117	-



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2021 (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		
4.1.21	254	-	1.2.21	242	-	1.3.21	269	-	1.4.21	216	-
7.1.21	205	-	4.2.21	198	-	4.3.21	218	-	6.4.21	355	-
11.1.21	230	-	9.2.21	332	-	8.3.21	271	-	8.4.21	153	-
14.1.21	200	-	11.2.21	143	-	11.3.21	215	-	12.4.21	291	-
18.1.21	242	-	15.2.21	282	-	15.3.21	274	-	15.4.21	223	-
21.1.21	203	-	18.2.21	214	-	18.3.21	211	-	19.4.21	298	-
25.1.21	259	-	22.2.21	258	-	22.3.21	300	-	22.4.21	236	-
28.1.21	197	-	25.2.21	208	-	25.3.21	240	-	26.4.21	288	-
						29.3.21	261	-	29.4.21	208	-
Maj			Junij			Julij			Avgust		
3.5.21	308	-	3.6.21	243	-	1.7.21	247	-	2.8.21	290	-
6.5.21	210	-	7.6.21	286	-	5.7.21	298	-	5.8.21	239	-
10.5.21	288	-	10.6.21	239	-	8.7.21	250	-	9.8.21	325	-
13.5.21	212	-	14.6.21	290	-	12.7.21	293	-	12.8.21	219	-
17.5.21	299	-	17.6.21	222	-	15.7.21	218	-	16.8.21	309	-
20.5.21	227	-	21.6.21	297	-	19.7.21	308	-	19.8.21	224	-
24.5.21	295	-	24.6.21	239	-	23.7.21	299	-	23.8.21	312	-
27.5.21	224	-	28.6.21	295	-	26.7.21	222	-	26.8.21	245	-
31.5.21	294	-				29.7.21	239	-	30.8.21	319	-
September			Oktober			November			December		
2.9.21	218	-	4.10.21	297	-	2.11.21	357	-	2.12.21	201	-
6.9.21	300	-	7.10.21	206	-	4.11.21	146	-	6.12.21	281	-
9.9.21	224	-	11.10.21	277	-	8.11.21	273	-	9.12.21	206	-
13.9.21	291	-	14.10.21	211	-	11.11.21	216	-	13.12.21	284	-
16.9.21	204	-	18.10.21	274	-	15.11.21	289	-	16.12.21	187	-
20.9.21	295	-	21.10.21	201	-	18.11.21	218	-	20.12.21	273	-
23.9.21	207	-	25.10.21	283	-	22.11.21	263	-	22.12.21	138	-
27.9.21	266	-	28.10.21	213	-	25.11.21	215	-	27.12.21	333	-
30.9.21	217	-				29.11.21	279	-	29.12.21	121	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2021 (Oznaka: 1.7D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,122
februar	0,167
marec	0,150
april	0,128
maj	0,174
junij	0,142
julij	0,182
avgust	0,107
september	0,160
oktober	0,117
november	0,157
december	0,109
Skupaj 2021	1,715



Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2021 (Oznaka: 2.1G)

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
05.01.2021	9,0	-
01.02.2021	9,7	-
02.03.2021	10,0	-
14.04.2021	10,4	-
26.05.2021	9,0	-
10.06.2021	9,8	-
06.07.2021	10,3	-
18.08.2021	10,6	-
16.09.2021	10,8	-
14.10.2021	10,7	-
10.11.2021	10,5	-
01.12.2021	10,5	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Dodatne meritve F2, IJS:

Koda vzorca: P21-VR1262-21 PR21-VR1262-91		
Datum: 23.02.2021 28.09.2021		
Izotop	A [Bq/m ³]	
Be-7	-	4,4 ± 0,8
K-40	58 ± 2,8	53 ± 3,1
Cs-137	-	< 0,39
Pb-210	3,8 ± 1,0	11 ± 2,5
Ra-226	1,3 ± 0,48	1,7 ± 0,58
Ra-228	0,78 ± 0,38	1,1 ± 0,32
Th-228	0,28 ± 0,25	1,0 ± 0,32
U-238	14 ± 1,9	5,7 ± 2,8

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save 21. 9. 2021 (Oznaka: 2.2G – 2.3G)

masa [g]	368	364
Izotop	A/m [Bq/kg]	
	pod izpustom	nad izpustom
K-40	298 ± 22	252 ± 19
Cs-137	0,69 ± 0,20	0,97 ± 0,21
Ra-226	21,9 ± 1,8	21,2 ± 1,8
Ra-228	20,1 ± 1,5	18,4 ± 1,5
Th-228	19,5 ± 1,6	17,2 ± 1,4
U-238	25,3 ± 7,6	22,9 ± 7,3

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja – 21. 9. 2021 na SV strani RC (Oznaka: 2.4G)

masa [g]	261	262	A/S [kBq/m ²] Depozit 0 – 20 cm
Izotop	A/m [Bq/kg]		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
K-40	425 ± 33	423 ± 33	-
Cs-137	31,2 ± 2,8	31,2 ± 2,8	5,42 ± 0,64
Pb-210	46,2 ± 16,8	24,7 ± 13,7	-
Ra-226	65,3 ± 5,6	66,2 ± 5,7	-
Ra-228	45,4 ± 3,5	46,4 ± 3,7	-
Th-228	41,9 ± 3,4	41,5 ± 3,4	-
U-238	35,1 ± 11,1	37,9 ± 11,4	-



Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2021 (Oznaka: 2.6D – 2.9D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,062	0,089	0,087	0,080
februar	0,050	0,091	0,085	0,085
marec	0,045	0,080	0,088	0,076
april	0,044	0,073	0,069	0,075
maj	0,051	0,076	0,084	0,084
junij	0,551	0,083	0,082	0,089
julij	0,113	0,079	0,090	0,093
avgust	0,052	0,084	0,088	0,079
september	0,056	0,096	0,085	0,095
oktober	0,062	0,102	0,094	0,101
november	0,055	0,082	0,096	0,094
december	0,058	0,085	0,087	0,081
Skupaj 2021	0,642*	1,020	1,035	1,032

* Opomba: Junija in julija sta na južnem merilnem mestu povišani dozi zaradi prisotnosti osebe, ki je bila na terapiji z jodom. Zaradi primerljivosti rezultatov smo za junij in julij k vsoti južnega merilnega mesta prišteli vrednost povprečja ostalih mesecev.

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ 22. 9. 2021 na SV strani RC (Oznaka: 2.10IS)

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
Be-7	12,1 ± 3,8	0,40 ± 0,12
K-40	303 ± 33	-
Cs-137	19,8 ± 2,4	0,73 ± 0,09
Ra-226	39,5 ± 4,7	-
Ra-228	31,9 ± 3,6	-
Th-228	31,8 ± 3,4	-

Tabela M12: Meritev aktivnostifiltra zračnih delcev v okolici reaktorja – 21. 9. 2021 pred vhomom v vročo celico (Oznaka: 2.12G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
21. 9. 2021	53	-

Opomba: Vzorcju ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2021 (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]	Co-58 [Bq/kg]	Fe-59 [Bq/kg]
4.1.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
11.1.21	0	48,9±4,1	-	-	11,8±3,9	-	-	2,79±0,54	-
18.1.21	3	16,9±1,7	-	80,5±8,2	7,02±3,18	-	2,45±1,29	2,59±0,51	-
25.1.21	0	-	-	-	-	0,92±0,37	-	1,81±0,46	-
1.2.21	0	13,9±1,5	-	-	-	-	-	2,7±0,52	-
9.2.21	0	40,5±3,5	-	-	26,4±4,7	1,68±0,5	-	4,48±0,68	-
15.2.21	0	-	-	-	14,6±3,4	2,73±0,55	-	4,23±0,68	-
22.2.21	0	12,9±1,5	-	-	9,79±3,56	1,49±0,42	-	2,64±0,51	-
1.3.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
8.3.21	0	28,9±2,7	-	-	-	-	-	1,32±0,49	-
15.3.21	0	5,18±0,77	-	-	13,9±3,1	0,94±0,38	-	2,86±0,53	-
22.3.21	0	75,4±6,1	-	-	18,1±4	-	-	3±0,56	-
29.3.21	0	4,23±0,73	-	-	9,7±3,78	-	-	1,8±0,47	-
7.4.21	0	-	-	131±10	-	1,24±0,5	7,72±1,21	1,86±0,56	-
13.4.21	250	197±15	-	5431±415	-	-	205±16	-	-
19.4.21	0	41,5±3,5	-	-	18,9±4,6	1,2±0,46	-	3,48±0,68	-
3.5.21	2,1e-4	132±10	-	4683±358	-	-	313±25	-	-
10.5.21	0	37,5±3,2	-	-	16,6±3,9	1,65±0,43	-	4,27±0,68	-
19.5.21	0	163±13	-	2,57±0,95	-	-	1,77±0,82	3,62±0,75	-
24.5.21	5	101±8	-	9437±722	-	-	389±30	-	-
31.5.21	250	89,8±7,3	-	11341±869	-	-	502±40	-	-
7.6.21	0	68,1±5,6	-	-	23,7±4,3	1,87±0,56	-	3,45±0,68	-
8.6.21	0	26,8±2,5	-	-	14,6±3,5	1,96±0,52	-	4,35±0,66	-
14.6.21	1e-4	24,4±2,2	-	6,32±1,01	15,8±3,8	-	-	2,61±0,58	1,76±0,55
21.6.21	0	126±10	-	2687±206	-	-	173±14	-	-
23.6.21	250	580±44	-	25040±1915	-	-	1477±113	-	-
5.7.21	250	59,7±4,9	-	4231±324	-	-	208±16	2,31±1,25	-
12.7.21	0	244±19	-	10055±769	-	-	629±49	-	-
19.7.21	0	22,4±2	-	-	10,8±3,2	-	-	2,27±0,54	-
26.7.21	0	15,7±1,6	-	-	7,96±2,87	1,36±0,41	-	3,86±0,65	-
3.8.21	0	6,52±0,97	-	-	12,3±3,6	-	-	3,05±0,56	-
9.8.21	0	12±1,7	-	-	17±3,8	0,8±0,36	-	3,98±0,58	-
16.8.21	25	19,6±1,9	-	1395±107	-	-	69,7±5,9	-	-
23.8.21	0	4,11±0,73	-	-	-	-	-	2,05±0,44	-
30.8.21	0	42,1±3,6	-	-	17,7±3,6	0,97±0,4	-	4,27±0,56	-
6.9.21	250	59,6±4,3	-	5911±380	-	-	267±18	-	-
13.9.21	0	35±2,6	-	-	13,2±3,9	-	-	1,82±0,53	-
20.9.21	0	93±7,5	-	-	17,6±4,6	-	-	3,4±0,76	-
27.9.21	1e-4	27,9±2,5	-	-	14,7±3,7	1,08±0,43	-	3,47±0,59	-
4.10.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
11.10.21	2,8e-5	21,7±2	-	-	14±3,9	-	-	2,35±0,52	-
18.10.21	5e-3	-	-	-	-	-	-	2,58±0,47	-
25.10.21	225	49,6±4,2	1829±162	5297±405	-	-	236±18	-	-
3.11.21	0	4,9±0,7	-	-	8,19±2,56	1,67±0,36	-	3,09±0,49	-
8.11.21	80	79,8±6,4	-	3348±256	-	-	164±13	-	-
18.11.21	250	794±6	2031±197	28487±2177	7,76±3,01	0,96±0,35	1512±113	2,79±0,54	-
25.11.21	250	703±54	-	24774±1893	-	-	1454±109	-	-
1.12.21	0	5,17±0,73	-	-	10,5±2,9	-	-	3,33±0,57	-
6.12.21	0	20,6±1,9	-	8,02±1,1	-	-	-	1,89±0,46	-
13.12.21	0	83,5±6,7	-	2313±177	-	-	142±11	-	-
20.12.21	0	43,1±3,6	-	764±59	9,22±4,58	-	38,8±3,6	3,53±0,82	-
27.12.21	0	519±40	-	12448±951	-	-	668±51	-	-

Nadaljevanje tabele na naslednji strani



Datum	P _{reakt.} [kW]	Co-60 [Bq/kg]	Zn-65 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	Sb-124 [Bq/kg]	I-131 [Bq/kg]	I-133 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
4.1.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
11.1.21	0	-	-	4,16 ± 0,73	1,6 ± 0,37	-	-	-	-
18.1.21	3	-	-	4,63 ± 0,78	-	-	-	-	-
25.1.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2.21	0	-	-	2,42 ± 0,44	-	-	-	-	-
9.2.21	0	2,07 ± 0,4	-	11,1 ± 1,4	2,99 ± 0,76	-	-	-	5,6 ± 1,7
15.2.21	0	1,65 ± 0,6	-	2,37 ± 0,48	-	-	-	-	-
22.2.21	0	-	-	2,22 ± 0,53	-	-	-	-	-
1.3.21	0	-	0,97 ± 0,38	-	-	-	-	-	-
8.3.21	0	-	-	2,7 ± 0,71	-	-	-	-	-
15.3.21	0	1,62 ± 0,41	-	2,34 ± 0,52	-	-	-	-	-
22.3.21	0	1,36 ± 0,49	-	8,19 ± 1,1	2,86 ± 0,72	-	-	-	5,76 ± 1,69
29.3.21	0	-	-	1,93 ± 0,42	-	-	-	-	-
7.4.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-
13.4.21	250	-	-	3,02 ± 0,99	-	-	-	-	-
19.4.21	0	-	-	4,76 ± 0,7	1,09 ± 0,59	-	-	-	3,38 ± 1,57
3.5.21	2,1e-4	-	-	1,8 ± 0,82	-	-	-	-	-
10.5.21	0	-	-	5,51 ± 0,75	-	0,77 ± 0,23	-	-	-
19.5.21	0	-	-	7,44 ± 0,99	-	-	-	-	7,57 ± 2,27
24.5.21	5	-	-	-	-	-	-	-	-
31.5.21	250	-	-	-	-	-	-	-	-
7.6.21	0	1,44 ± 0,55	-	9,83 ± 1,24	2,53 ± 0,66	-	-	-	6,59 ± 1,39
8.6.21	0	1,96 ± 0,52	-	7,34 ± 1,07	-	-	0,61 ± 0,31	-	-
14.6.21	1e-4	-	-	5,33 ± 0,84	-	-	-	-	-
21.6.21	0	-	-	8,07 ± 1,27	-	-	-	1,35 ± 0,77	-
23.6.21	250	-	-	7,94 ± 1,39	6,78 ± 1,98	-	-	-	40,5 ± 5,5
5.7.21	250	-	-	4,57 ± 1,08	-	-	-	-	-
12.7.21	0	-	-	8,72 ± 1,52	-	-	-	-	-
19.7.21	0	-	-	1,86 ± 0,43	1,26 ± 0,5	-	-	-	-
26.7.21	0	1,3 ± 0,58	-	1,46 ± 0,36	-	-	-	-	-
3.8.21	0	-	-	4,41 ± 0,72	-	-	-	-	-
9.8.21	0	0,88 ± 0,48	-	16,7 ± 2,4	1,13 ± 0,46	-	-	-	-
16.8.21	25	-	-	-	-	-	-	-	-
23.8.21	0	-	-	3,59 ± 0,47	-	-	-	-	-
30.8.21	0	0,89 ± 0,54	-	5,36 ± 0,73	2,44 ± 0,81	-	-	-	4,51 ± 1,9
6.9.21	250	-	-	-	-	-	-	-	-
13.9.21	0	-	-	6,92 ± 0,87	-	-	-	-	3,68 ± 1,17
20.9.21	0	-	-	15,2 ± 1,8	3,2 ± 0,77	-	-	-	12,1 ± 1,9
27.9.21	1e-4	-	-	9,69 ± 1,2	1,17 ± 0,31	-	-	-	-
4.10.21	0	-	-	3,63 ± 0,56	-	-	-	-	-
11.10.21	2,8e-5	1,74 ± 0,32	-	3,86 ± 0,63	-	-	-	-	-
18.10.21	5e-3	1,65 ± 0,3	-	-	-	-	-	-	-
25.10.21	225	-	-	-	-	-	-	-	-
3.11.21	0	1,4 ± 0,3	-	2,37 ± 0,42	-	-	-	-	-
8.11.21	80	1,47 ± 0,5	-	4,36 ± 1,01	-	-	-	-	15,2 ± 4,7
18.11.21	250	1,45 ± 0,37	-	-	-	-	-	-	65,9 ± 11,8
25.11.21	250	-	-	9,01 ± 2,2	-	-	-	-	30,9 ± 12,7
1.12.21	0	1,19 ± 0,33	-	8,71 ± 1,08	-	-	-	-	-
6.12.21	0	-	-	3,46 ± 0,55	-	-	-	-	-
13.12.21	0	1,49 ± 0,47	-	3,6 ± 0,92	-	-	-	-	-
20.12.21	0	1,9 ± 0,44	-	9,78 ± 1,25	-	-	-	-	-
27.12.21	0	-	-	7,54 ± 1,83	-	-	-	-	22,1 ± 8,4



Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2021 (Oznaka: 3.2G)

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
07.01.2021	-
04.02.2021	-
09.03.2021	-
15.04.2021	-
06.05.2021	-
23.06.2021	-
08.07.2021	-
04.08.2021	-
16.09.2021	-
28.10.2021	-
18.11.2021	-
14.12.2021	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2021 (Oznaka: 3.3G)

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]
06.01.2021	6,0	-
01.02.2021	6,0	-
03.03.2021	6,0	-
07.04.2021	6,0	-
05.05.2021	6,0	-
09.06.2021	6,0	-
07.07.2021	6,0	-
04.08.2021	6,0	-
01.09.2021	6,0	-
18.10.2021	6,0	-
03.11.2021	6,0	-
01.12.2021	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). Vzorci se merijo po postopku *Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama* (ELME-DN-17). 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). 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 detektorjev d0 (CANBERRA), d1 (ORTEC) in d2 (CANBERRA).

MEDIJ	Voda			Zrak			Zemlja		
Velikost vzorca	240 mL			200 m ³			240 mL		
Enota	[Bq/kg]			[Bq]			[Bq/kg]		
Detektor	d0	d1	d2	d0	d1	d2	d0	d1	d2
Na-24	2,42	3,23	2,00	0,20	0,55	0,16	2,06	5,39	0,74
Ar-41	3,45	13,5	3,31	0,29	0,81	0,23	3,49	9,96	0,04
Cr-51	12,9	37,6	11,80	0,86	2,12	0,77	14,1	3,36	7,93
Mn-54	2,09	5,91	1,71	0,16	0,42	0,13	2,02	5,66	0,59
Co-58	2,06	6,02	1,75	0,15	0,40	0,11	1,93	5,15	0,97
Co-60	2,28	7,67	1,84	0,20	0,61	0,16	1,99	6,24	1,08
Zn-65	5,42	14,1	4,16	0,41	1,02	0,33	5,70	14,4	2,99
I-131	1,73	4,63	1,47	0,11	0,28	0,10	1,72	4,34	0,96
Cs-137	2,26	6,17	1,79	0,15	0,41	0,12	1,71	4,30	0,72
K-40	41,0	104	33,40	3,50	7,64	2,56	29,8	96,4	18,20
Ra-226	2,93	11,4	3,71	0,26	0,63	0,23	3,84	7,94	2,67
Ra-228	8,42	15,9	6,77	0,70	1,77	0,52	7,53	16,7	4,29
Th-228	2,68	4,61	2,77	0,17	0,40	0,19	2,39	7,07	1,58
U-238	18,1	51,4	23,20	1,03	2,55	1,27	20,8	42,3	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 2021 smo sodelovali na dveh mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2020, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2021.

NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2020

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, višje koncentracije

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Co-60	2,76 ± 0,16	2,822 ± 0,012	ustreza
Ba-133	18,1 ± 1,2	19,24 ± 0,28	ustreza
Eu-154	2,36 ± 0,13	2,504 ± 0,040	ustreza



Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, nižje koncentracije

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Cs-134	9,43 ± 0,70	10,23 ± 0,22	ustreza
Cs-137	5,05 ± 0,55	4,547 ± 0,082	ustreza
Eu-155	23,7 ± 2,1	24,4 ± 1,1	ustreza
Am-241	3,31 ± 0,50	2,964 ± 0,032	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 [14].

IAEA-TEL-2021-04 ALMERA proficiency test exercise 2021

Vsebnost umetnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Co-60	73,83 ± 5,27	74,2 ± 3,3	ustreza
Cs-134	108,74 ± 7,82	113,2 ± 5,1	ustreza
Cs-137	67,90 ± 6,07	69,2 ± 3,1	ustreza
Am-241	60,18 ± 7,29	60,9 ± 2,7	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v drugem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Ba-133	135,85 ± 8,92	147,3 ± 6,6	ustreza
Cs-137	140,94 ± 11,09	147,4 ± 6,6	ustreza
Am-241	107,56 ± 12,16	108,3 ± 4,9	ustreza
Eu-152	2,88 ± 0,53	3,01 ± 0,37	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v tretjem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Cs-134	17,54 ± 1,36	19,05 ± 0,86	ustreza
Cs-137	26,32 ± 2,40	26,02 ± 1,17	ustreza
Am-241	4,85 ± 0,82	4,85 ± 0,57	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na filtru

Izotop	A [Bq]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Cs-137	11,70 ± 0,92	11,2 ± 0,6	ustreza

Vsi rezultati umetnih radionuklidov tako v vodnih vzorcih kot na filtrih se dobro ujemajo z referenčnimi rezultati, poročanimi z IAEA [15].



5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2021 zaradi epidemiološke situacije nismo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu.

Kljub neugodni epidemiološki situaciji so bile na reaktorskem centru 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 znotraj 20 % (največje odstopanje 6 %).

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur.l. RS 27/18) smo v letu 2021 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščen organizacije (ZVD). Primerjali smo meritve primarne vode, vzorčene 18. 11. 2021. Primarno vodo smo vzorčili ob dolgotrajnejšem obratovanju reaktorja na polni moči – reaktor je bil ob času vzorčenja že več kot šest ur na polni moči – in jo še isti dan pomerili tako na reaktorskem centru kot na ZVD.

Izotop	A [Bq/kg]		A _{SVPIS} /A _{ZVD}	u-test
	SVPIS	ZVD		
Na-24	794 ± 16	890 ± 38	0,89	1,34
Mg-27	2031 ± 197	-	-	-
Ar-41	28487 ± 2177	23000 ± 970	1,24	2,30
Mn-56	1512 ± 113	1700 ± 71	0,89	1,41
W-187	66 ± 12	50 ± 4	1,32	1,28

Rezultate smo primerjali z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|A_{SVPIS} - A_{ZVD}|}{\sqrt{\frac{u_{SVPIS}^2 + u_{ZVD}^2}{2}}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_{SVPIS} in u_{ZVD} negotovosti meritev. V okviru u-testa se ujemajo rezultati za Na-24, Mn-56 in W-187. Mg-27 ima razpolovno čas 9 min, zato je med prevozom vzorca na ZVD že razpadel. Ar-41 ima razpolovni čas 1,8 h, a ker je žlahtni plin, ga je lahko med meritvama del ušel iz vzorca, zaradi česar je lahko odstopanje nekoliko večje.



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 in ZVISJV-1A) (Ur.l. RS št. 76/17 in 26/19)
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 2021, IJS-DP-13642, 2021
13. Radiološki pregled virov sevanja, Reaktorski infrastrukturni center, 34/21-N, 2021
14. NPL Report IR 59, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2020 – Final Report, Elsie van Es et. al., 2021
15. IAEA-TEL-2021-04 ALMERA Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report Part I, 2021
16. Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998
17. ICRP Publication 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, Elsevier Ltd, 2012