

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



POROČILO ZA LETO 2020

Interna oznaka poročila: 1/21-N

Leto izdaje: 2021 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	03.03.2021	





<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 2020
<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, Thomas Breznik, Tinkara Bučar, Matjaž Stepišnik
<i>Štev.del.por. IJS:</i>	IJS-DP-13420
<i>Kopije:</i>	Arhiv SVPIS RIC URSJV URSVS Knjižnica IJS
<i>Slika na naslovni strani:</i>	Pogled na reaktor z zahodne 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 2020 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 0,7 TBq, kar je dobrih 40 % manj kot v letu poprej, kar je posledica manjšega števila 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 μSv , kar je primerljivo z letom 2019.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je nemerljiva, saj v letu 2020 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 μSv na leto.



1 Uvod

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2020 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.

Program obratovalnega monitoringa je podrobneje predstavljen v poglavju 5.1. 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).

V letu 2020 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 464 ur, kar je 36 % manj kot v letu 2020, kar je neposredna posledica epidemije in s tem povezanega zmanjšane povpraševanja po obsevalnih urah.

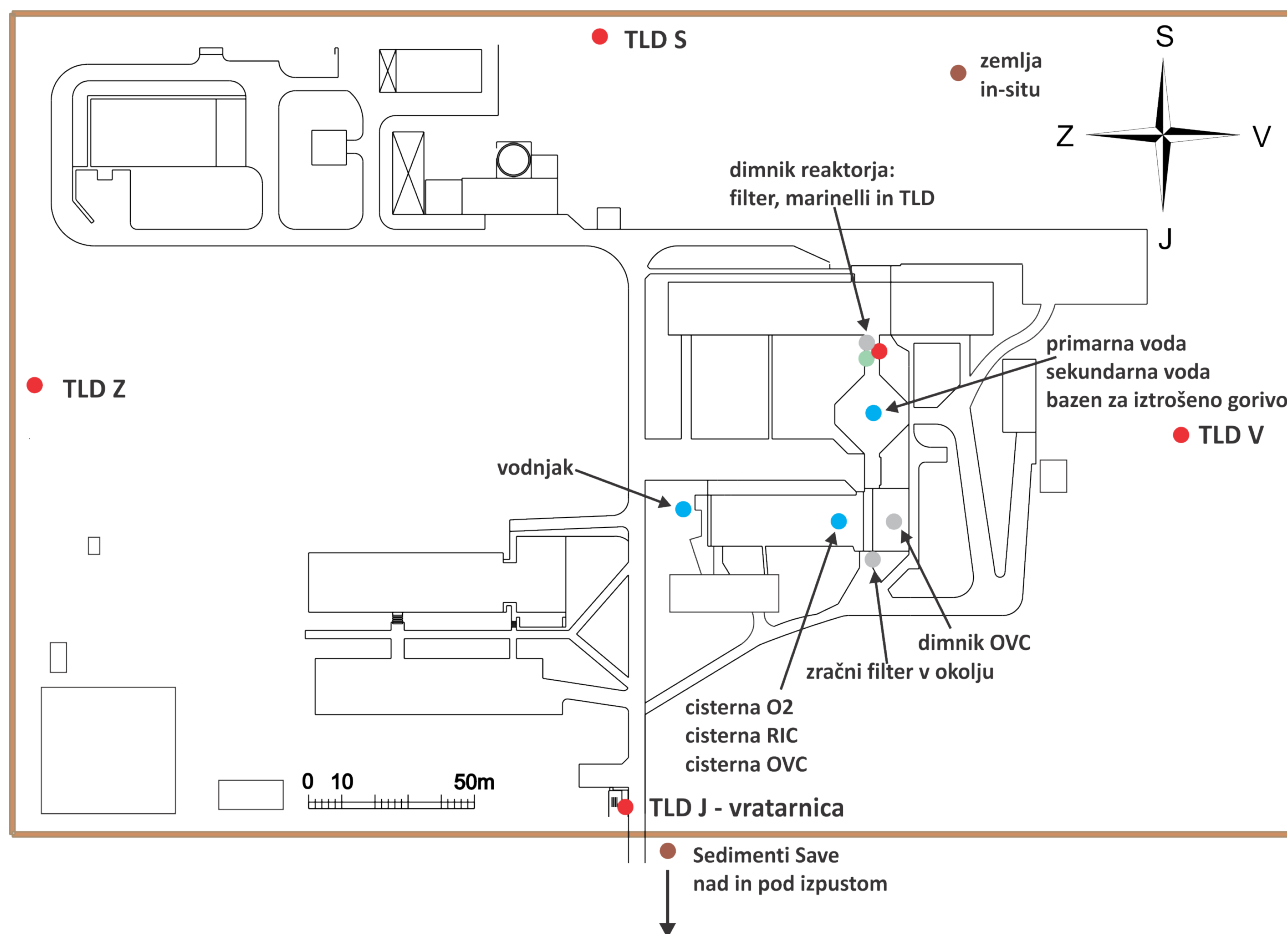


Program obratovalnega monitoringa temelji na dejavnostih, ki so povezane z Institutom Jožef Stefan, in ne vključuje dodatnih meritev, ki se izvajajo za nadzor prehodnega skladišča radioaktivnih odpadkov, ki ga upravlja Agencija za radioaktivne odpadke.



2 Vzorčevalne lokacije

Vzorčenje 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, 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 2020



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 2020 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 2020 izčrpana štirikrat. 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 in od delovanja ventilacijskega sistema reaktorske hale, s katero je reguliran pretok zraka v dimniku. Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2020 je bila 158 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila izmerjena v oktobru 168 kBq/m³. Povprečna vrednost je malenkost višja kot v prejšnjih letih (150 kBq/m³ v letu 2019 in 2018 ter 154 kBq/m³ v letu 2017).

Primerjava koncentracij Ar-41 z meritvami v preteklih letih kaže povišanje po letu 2015, ko je bila 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.

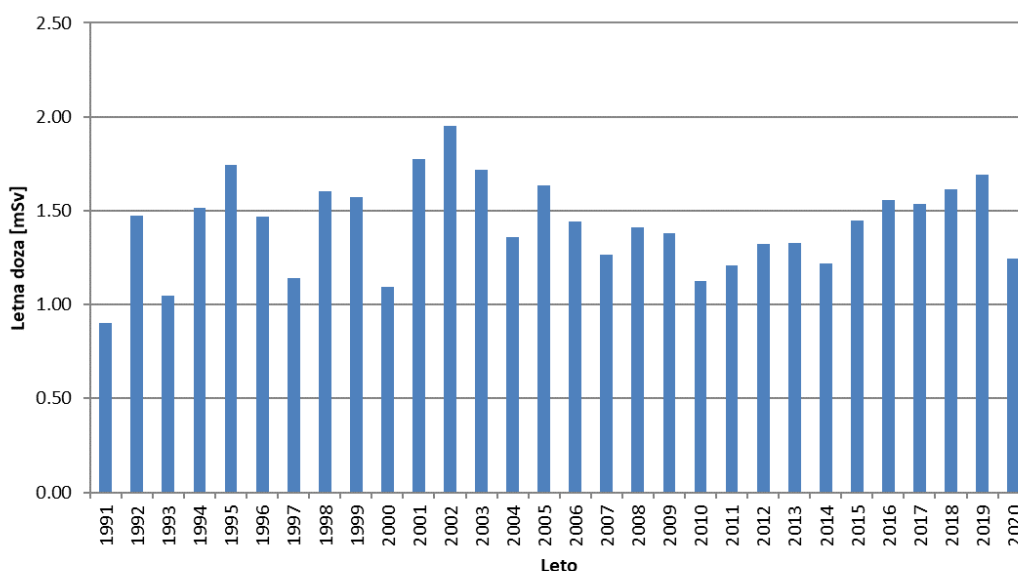
Na filterih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2020 nekajkrat zaznali prisotnost Na-24 in Br-82 nizkih aktivnosti, večinoma primerljivih z mejo detekcije. V tem letu nismo zaznali prisotnosti drugih radionuklidov, vendar lahko v prihodnosti še vedno pričakujemo občasno prisotnost npr. Sb-122 ali Sb-124. V letu 2017 se je namreč med obsevanjem v obsevalnem kanalu vrtiljaka poškodovala kapsula standardnega vodnega vzorca, pripravljenega 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

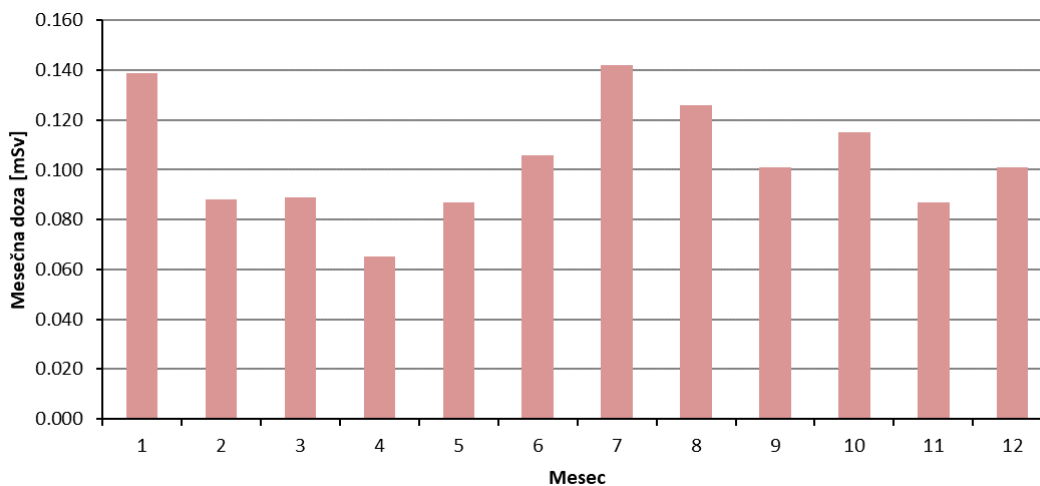
V dimniku reaktorja je nameščen TLD, katerega doza je korelirana s trajanjem in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega polurni odčitki so predstavljeni na sliki 6 in podrobneje opisani v poglavju 3.2.4.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2020 prikazane na sliki 2. Vrednosti segajo od naravne letne doze TLD (0,9 mSv) do dvakratnega ozadja (skoraj 2,0 mSv za leto 2002) in so odvisne od obratovanja reaktorja. Za leto 2020 je bila skupna letna doza TLD 1,2 mSv in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.

Na sliki 2 je viden postopen trend naraščanja letne doze od leta 2010 do 2019 (1,7 mSv v 2019 in 1,6 mSv v 2018), kar je povezano s povečevanjem obratovalnih ur delovanja reaktorja. Zaradi epidemije je bila v letu 2020 letna doza spet nekoliko nižja.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2020



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2020 (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 2020 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 razen Cs-137, ki je posledica globalne kontaminacije. 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 2020 izmerjene koncentracije Cs-137 3,7 Bq/kg nad in 2,7 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 bistveno nižje kot v gornji plasti zemlje, 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 2020 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" in naredili analizo za dve globini. Vsebnosti naravnih



radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost Cs-137 v zgornji plasti 33 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 2020 sta vrednosti za zgornjo plast (0-10 cm, 33 Bq/kg) in spodnjo plast (10-20 cm, 31 Bq/kg) popolnoma primerljivi. Po globalni kontaminaciji Cs-137 počasi prodira s površine v globlje plasti.

3.2.4 Zunanje sevanje

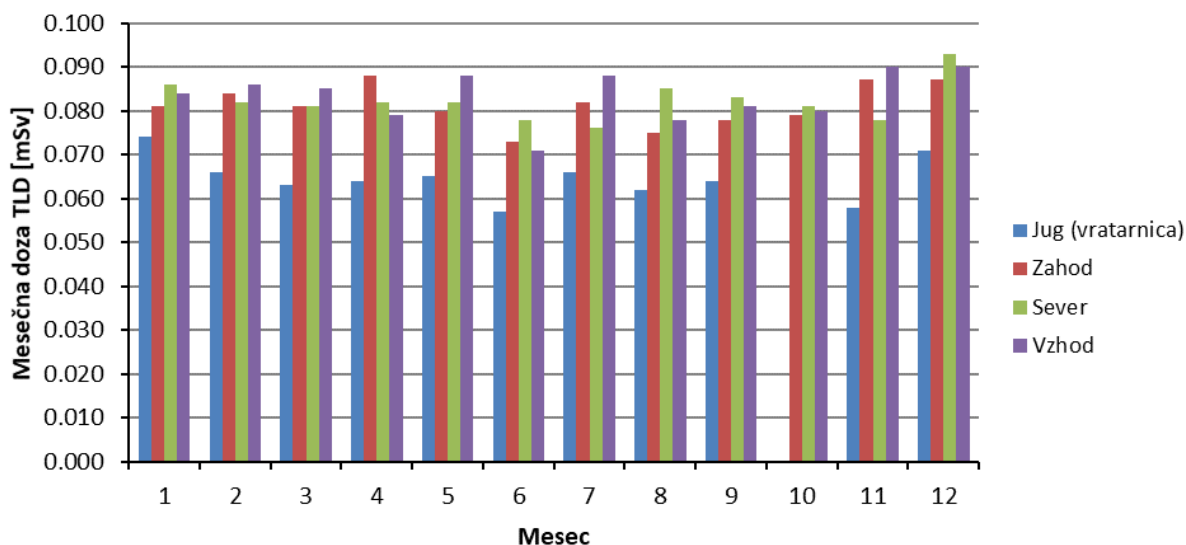
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1).

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

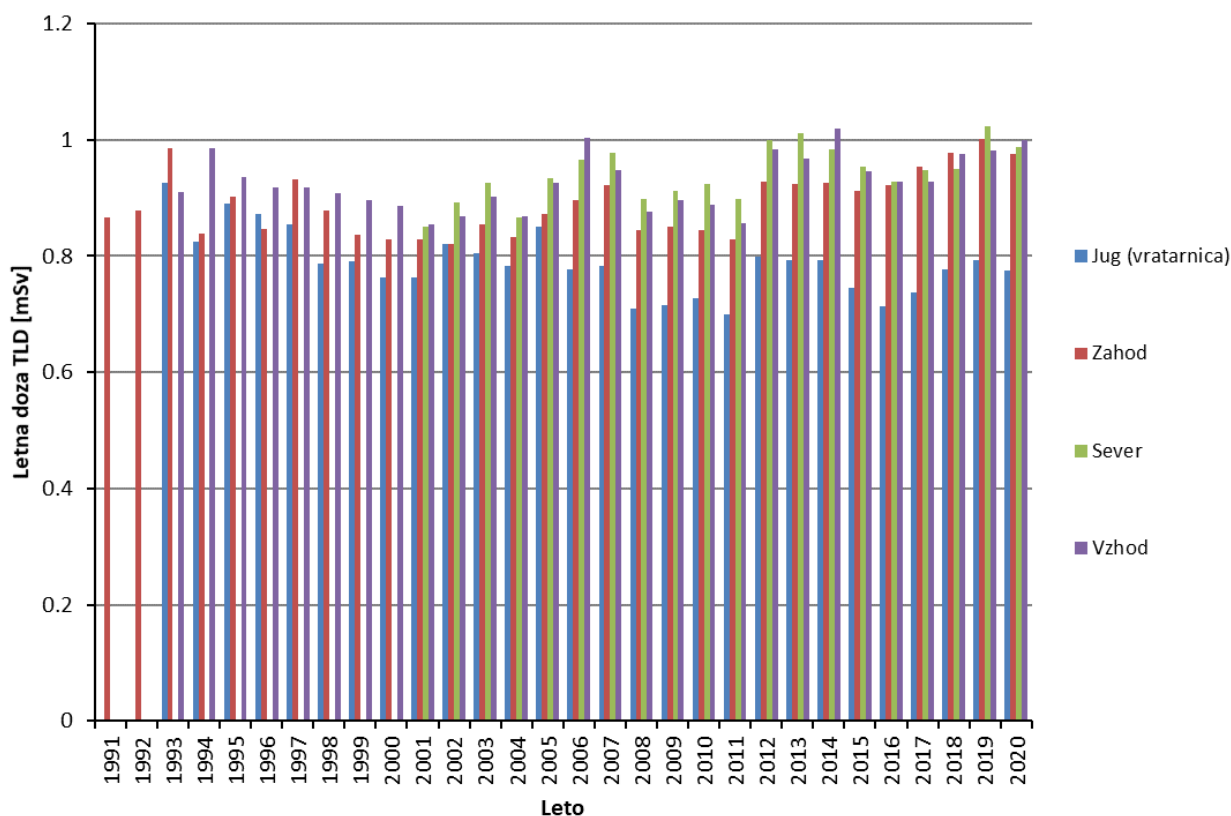
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	Ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

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

Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2020 so na sliki 4 in v tabeli M10 in letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev na sliki 5. Razlike med posameznimi točkami so 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. Letne vrednosti so na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,08 mSv/mesec oziroma 1 mSv/leto).



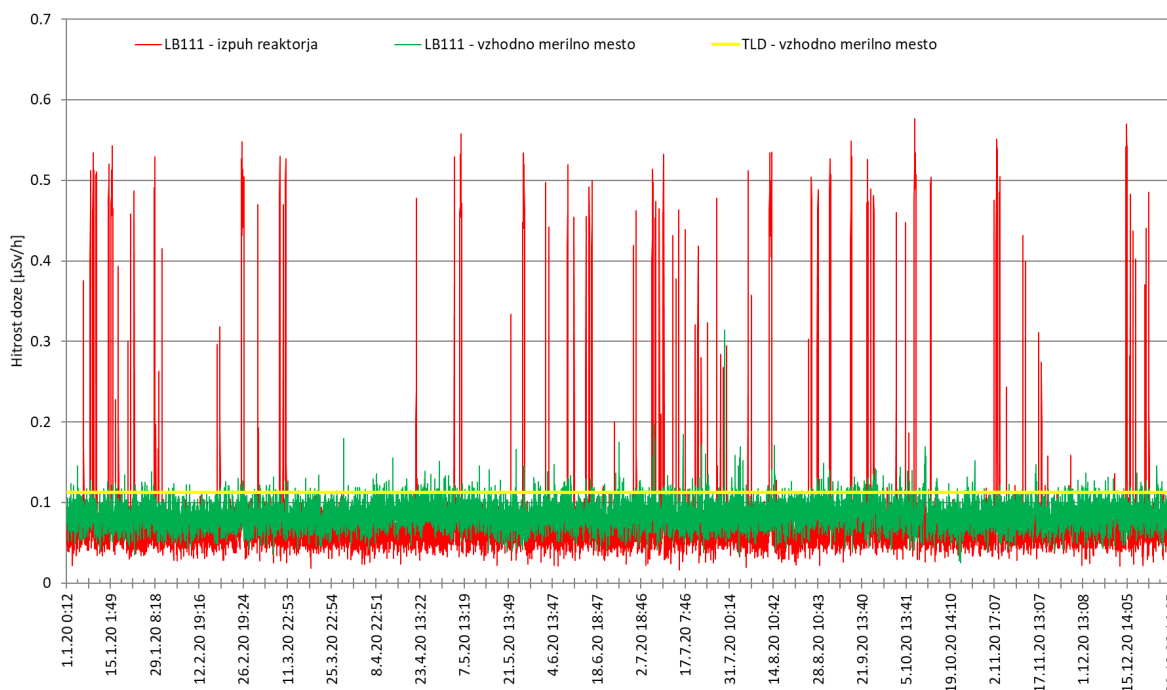
Slika 4: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2020 (Oznaka 2.6D – 2.9D)



Slika 5: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2020

Na sliki 6 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 zunanje sevanja (okoli 0,5 $\mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzroča 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 vzhodni kontrolni točki se pojavljajo ob padavinah, ki iz ozračja izperejo kratkožive radonove potomce. Pojav je naraven in ni povezan z obratovanjem reaktorja.
- S slike 6 je razvidno, da je 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 $\mu\text{Sv/h}$ (glej poglavje Zračni izpusti).



Slika 6: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2020 – 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, vrednosti za Cs-137 so zaradi nehomogene porazdelitve Cs-137 nekoliko nižje kot običajno. Vrednost za Cs-137 19 Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve je primerljiva z vrednostjo meritev v letu 2019 29 Bq/kg (lokacija JV).

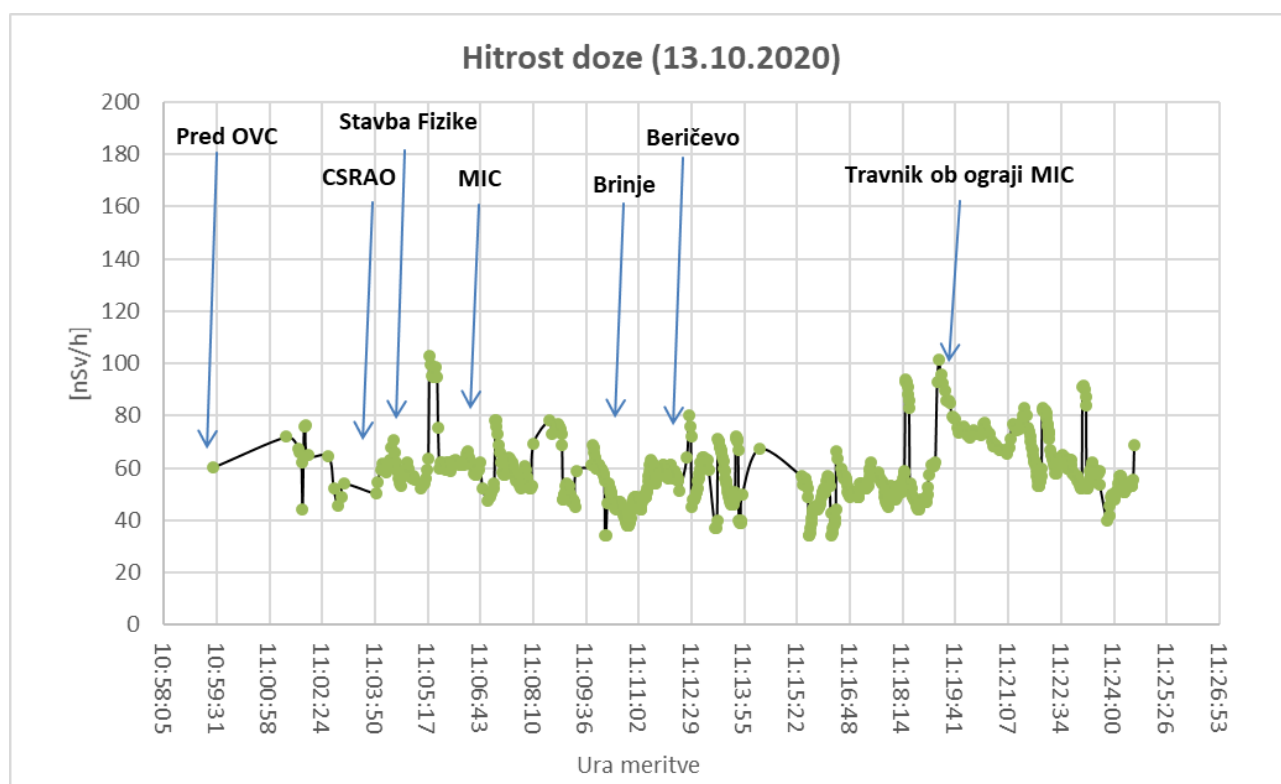
Hitrost doze znotraj ograje Reaktorskega centra (slika 7) in v njegovi okolici smo merili z organskim scintilatorjem večjega volumna, primernim za merjenje naravnega ozadja. Rezultati meritev in njihove lokacije na krožni poti so na slikah 8 in 9. Izmerjene hitrosti doze znotraj ograje Reaktorskega centra in v okoliških naseljih so primerljive z nivoji sevanja drugod po Sloveniji.

Za potrebe vzdrževanja pripravljenosti smo vzorčili tudi zračne delce s prenosnim vzorčevalnikom pred vhodom v objekt vroče celice. Aerosolni filter smo izmerili v laboratoriju s spektrometrijo gama. Rezultati meritev so v tabeli M12. V vzorcu nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov.

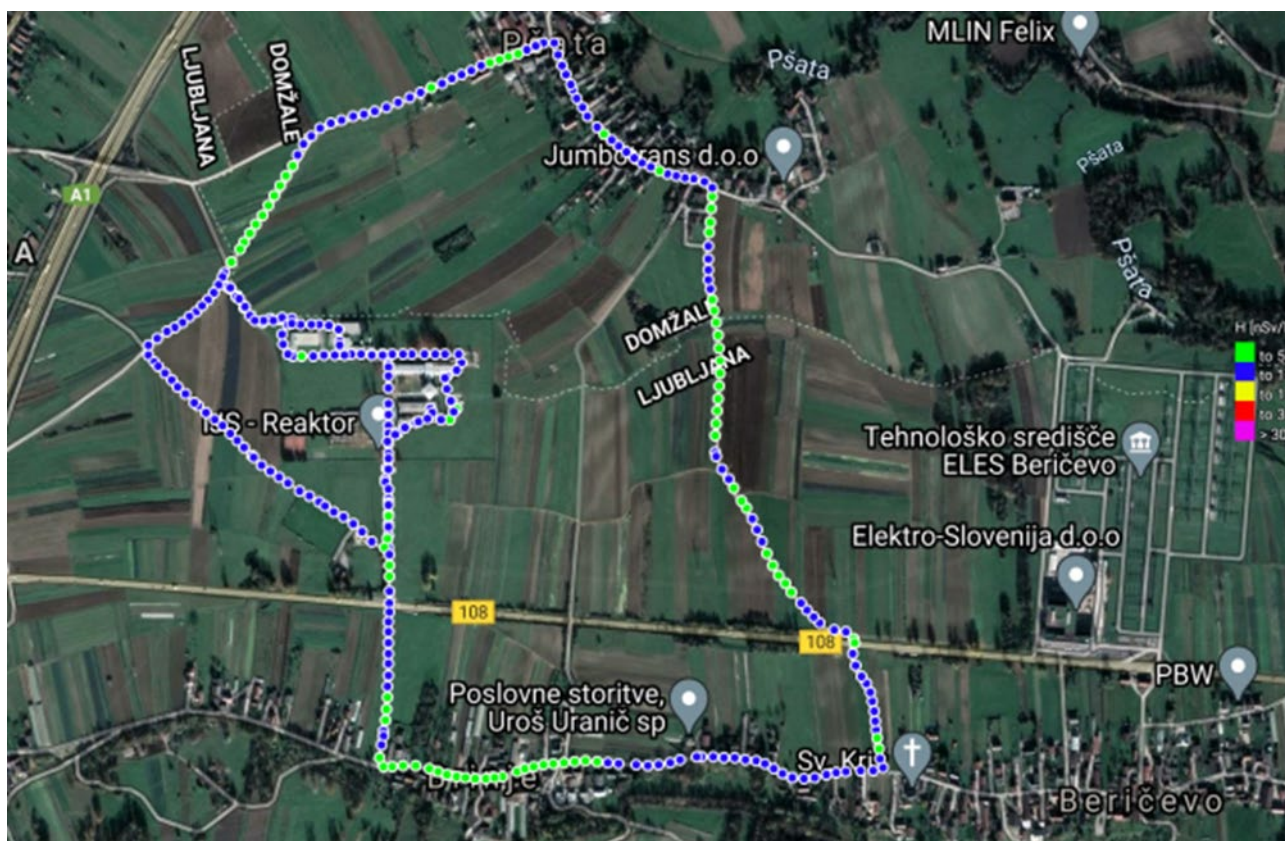
Vse meritve v okviru vzdrževanja pripravljenosti so potrdile, da ni radiološkega vpliva delovanja jedrskega objekta na njegovo okolico in da je SVPIS ustrezno pripravljena na izvajanje tovrstnih meritev.



Slika 7: Meritve hitrosti doze v okviru vaje in primerjalnih meritev med različnimi slovenskimi in hrvaškimi laboratoriji, 14. 10. 2020



Slika 8: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (13. 10. 2020) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (Oznaka: 2.11HD)



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra 13. 10. 2020 (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 2020 smo v primarni vodi zaznali Na-24, 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 primarni vodi nismo zaznali fisijskih produktov, iz česar je razvidno, da gorivo ni poškodovano.

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 2020 smo v vzorcih vode zaznali prisotnost umetnega radionuklida Cs-137 pod mejo detekcije, čeprav v bazenu od leta 2001 ni več izrabljenih gorivnih elementov. V letu 2018 in 2019 so bili v bazenu za iztrošene gorivne elemente občasno shranjeni aktivnejši obsevani vzorci, tako je prisotnost omenjenih radionuklidov lahko posledica pretekle kontaminacije ali kontaminacije zaradi shranjenih vzorcev.



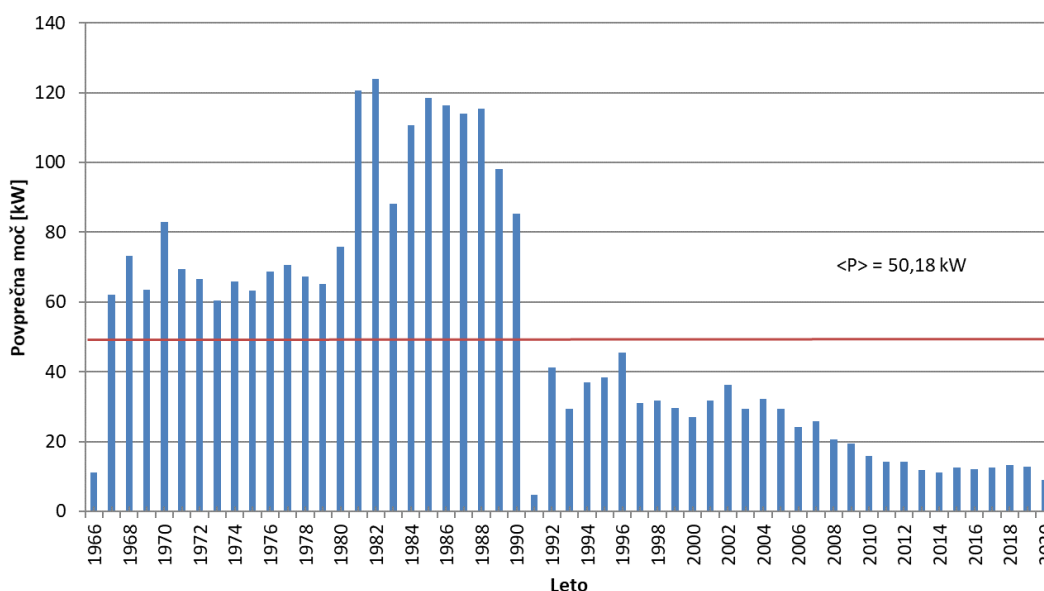
4 Ocena vplivov

Neposredne meritve v okolju ne kažejo na zaznaven radiološki vpliv Rektorskega 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 $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Povprečni pretok med mesečnimi vzorčenji plinskega vzorca zraka za leto 2020 je bil $4 \text{ m}^3/\text{s}$. V letu 2020 je bila povprečna izmerjena aktivnost Ar-41 $158 \text{ kBq}/\text{m}^3$ in s tem hitrost izpuščanja $0,64 \text{ MBq}/\text{s}$ pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2020 je bila $9,0 \text{ kW}$ (slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) $23 \text{ kBq}/\text{s}$ ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 $0,7 \text{ TBq}$ ($1,2 \text{ TBq}$ v 2019).



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2020, $\langle P \rangle$ 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 16 Bq Na-24 in 1 Bq Br-82 na filter, kar je približno $0,1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ za Na-24 in $< 0,01 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 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 Gausovim 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, Third edition, Bernard Shleien et.al., Williams and Wilkins, 1998,
- 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 Gausovega modela za različne oddaljenosti od vira, upoštevan izpust Ar-41 je 23 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]	229	11
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E [m^{-2}]	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	457	23

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 pretvorbni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41: $5,3E-3 \mu Sv \text{ dan}^{-1} / Bq \text{ m}^{-3}$ povzet iz UV2 in ICRP119,
- delež R oblaka z radijem σ_y glede na polneskončni oblak (tabela 3),
- 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



* Delež med končnim in polneskončnim oblakom je povzet s slike 11.3.2 (stran 11-46), Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998

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

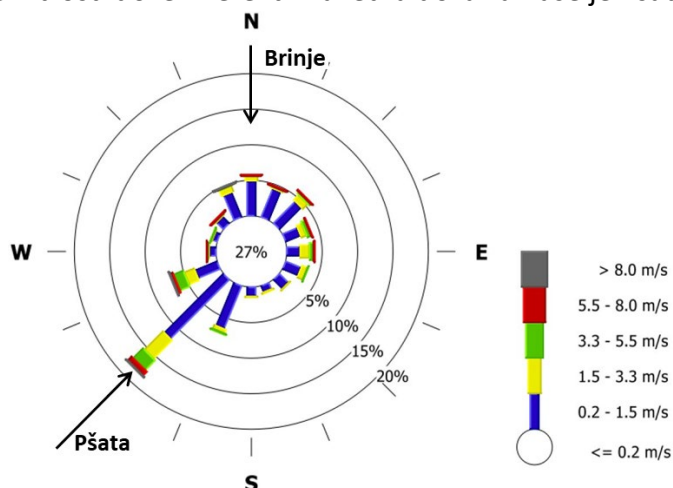
$$E_{im} = \chi \cdot D_{im}(Ar) \cdot R \cdot t \cdot d,$$

kjer je:

- χ koncentracija Ar-41 v zraku,
- $D_{im}(Ar)$ dozni pretvorbni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41,
- R popravek iz polneskončnega oblaka v oblak s končnim radijem σ_v (delež polneskončnega oblaka),
- t čas zadrževanja na določenem mestu,
- d delež časa, ko veter piha v določeni smeri.

Iz rože vetrov za leto 2020 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je veter v letu 2020 najpogosteje pihal proti SV, kamor je pihal 18,3 % časa s hitrostjo v povprečju 1,5 m/s. Veter je tako kot v prejšnjih letih tudi v letu 2020 večino časa pihal v smeri proti naselju Pšata. 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 2020, osrednji del predstavlja brezvetrje (27 %)

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	1,51 E-4	3,53 E-5
	Letna doza [μSv]	0,01	0,31
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	3,03 E-4	5,05 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,44
Povprečje D in E		0,01	0,38

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 0,38 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 2020 v cisternah O-2 in RIC nismo zaznali umetnih radionuklidov (tabela M1 in M2), cisterna OVC je bila tudi v letu 2020 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 .

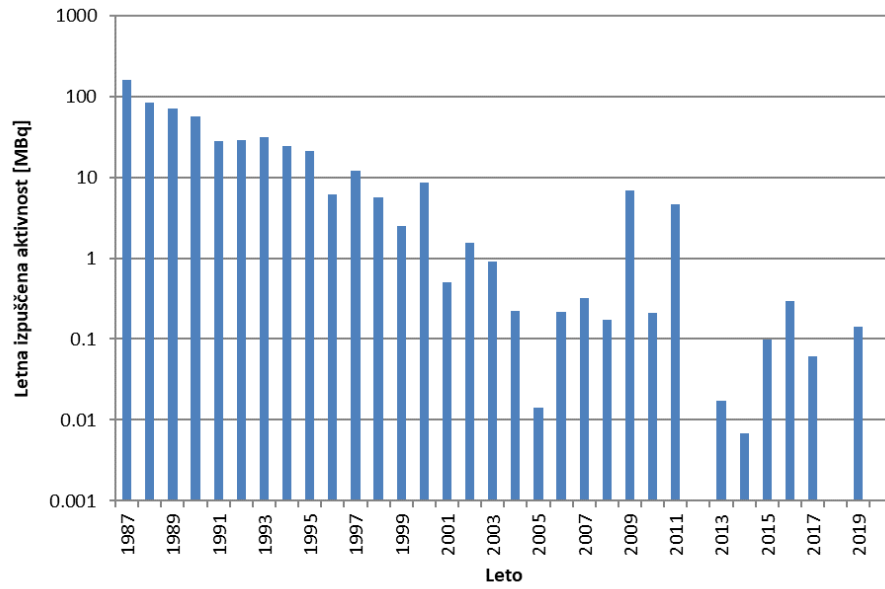
*Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov 58 m^3/s , čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot 58 m^3/s , zato z ohranjanjem nižje številke ostaja ocena konzervativna.

V letu 2020 tretjič odkar merimo (prvič leta 2012 in drugič leta 2018) 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 1987-2020



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	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	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	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 2020 (Oznaka: 1.1G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
06.01.2020	7,46	7,0	-	20.07.2020	4,05	7,0	-
13.01.2020	4,31	7,0	-	03.08.2020	8,90	7,0	-
20.01.2020	4,52	7,0	-	10.08.2020	5,45	7,0	-
03.02.2020	8,03	7,0	-	24.08.2020	8,47	7,0	-
17.02.2020	8,38	7,0	-	02.09.2020	6,18	7,0	-
24.02.2020	5,01	7,0	-	14.09.2020	6,77	7,0	-
02.03.2020	5,60	7,0	-	21.09.2020	5,00	7,0	-
13.03.2020	8,81	7,0	-	28.09.2020	5,15	7,0	-
06.04.2020	10,87	7,0	-	05.10.2020	5,03	7,0	-
23.04.2020	9,80	7,0	-	12.10.2020	5,51	7,0	-
07.05.2020	8,71	7,0	-	28.10.2020	1,24	7,0	-
19.05.2020	8,73	7,0	-	09.11.2020	8,10	7,0	-
01.06.2020	914	7,0	-	16.11.2020	5,58	7,0	-
08.06.2020	5,99	7,0	-	23.11.2020	4,76	7,0	-
18.06.2020	8,64	7,0	-	30.11.2020	4,76	7,0	-
01.07.2020	8,24	7,0	-	07.12.2020	4,68	7,0	-
07.07.2020	4,20	7,0	-	21.12.2020	8,10	7,0	-
14.07.2020	5,00	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 2020 (Oznaka: 1.2G)

Datum vzorčenja – Cisterna RIC	V [m ³]	Aktivnost [Bq/kg]
19.06.2020	3,4	-
04.08.2020	3,2	-
31.08.2020	3,3	-
23.12.2020	2,4	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2020 nismo nikoli praznili.

Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2020 (Oznaka: 1.3G)

Datum vzorčenja	P _{reaktorja} [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
09.01.2020	250	148 ± 10
26.02.2020	250	163 ± 11
11.03.2020	250	162 ± 11
22.04.2020	250	147 ± 10
06.05.2020	250	161 ± 11
02.06.2020	250	159 ± 11
06.07.2020	250	155 ± 11
06.08.2020	250	154 ± 11
01.09.2020	250	159 ± 11
08.10.2020	250	168 ± 12
03.11.2020	250	159 ± 11
15.12.2020	250	164 ± 11
Povprečje:	250	158



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2020 (Oznaka: 1.4G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	
Januar				Februar				Marec			
		Na-24	Br-82			Na-24	Br-82			Na-24	
3.1.20	138	-	-	3.2.20	93	-	-	2.3.20	275	-	
6.1.20	107	-	-	6.2.20	204	-	-	5.3.20	208	-	
9.1.20	114	-	-	10.2.20	211	-	-	9.3.20	168	-	
13.1.20	138	-	-	13.2.20	204	-	-	12.3.20	140	0,90 ± 0,18	
16.1.20	90	-	-	17.2.20	235	-	-	16.3.20	240	-	
20.1.20	114	-	-	20.2.20	208	-	-	19.3.20	163	-	
23.1.20	85	-	-	24.2.20	238	-	-	23.3.20	220	-	
27.1.20	103	-	-	27.2.20	186	-	-	26.3.20	196	-	
30.1.20	77	-	-					30.3.20	210	-	
April				Maj				Junij			
2.4.20	196	-	-	4.5.20	256	-	-	1.6.20	231	-	
6.4.20	209	-	-	7.5.20	196	-	-	4.6.20	188	-	
9.4.20	159	-	-	11.5.20	233	-	-	8.6.20	251	-	
14.4.20	232	-	-	14.5.20	185	-	-	11.6.20	215	-	
16.4.20	129	-	-	18.5.20	257	-	-	15.6.20	245	-	
21.4.20	284	-	-	21.5.20	182	-	-	18.6.20	195	-	
23.4.20	135	1,06 ± 0,19	-	25.5.20	251	-	-	22.6.20	255	-	
28.4.20	264	-	-	28.5.20	196	-	-	29.6.20	418	-	
30.4.20	131	-	-								
Julij				Avgust				September			
2.7.20	204	-	-	3.8.20	278	-	-	3.9.20	212	1,24 ± 0,40	
6.7.20	269	-	-	6.8.20	219	-	-	7.9.20	284	-	
9.7.20	210	1,33 ± 0,41	-	10.8.20	276	-	-	10.9.20	215	-	
13.7.20	282	-	-	13.8.20	211	2,58 ± 0,52	-	14.9.20	286	-	
16.7.20	213	-	-	17.8.20	285	-	-	17.9.20	215	-	
20.7.20	292	-	-	20.8.20	213	-	-	21.9.20	290	-	
23.7.20	234	-	-	24.8.20	274	-	-	24.9.20	270	1,92 ± 0,41	
27.7.20	279	-	-	27.8.20	229	-	-	28.9.20	289	-	
30.7.20	210	-	-	31.8.20	275	-	-				
Oktober				November				December			
1.10.20	229	-	-	2.11.20	227	-	-	3.12.20	171	-	
5.10.20	275	-	-	5.11.20	197	3,21 ± 0,38	0,28 ± 0,13	7.12.20	185	-	
8.10.20	236	16,2 ± 1,1	0,53 ± 0,05	9.11.20	239	-	-	10.12.20	192	-	
12.10.20	250	-	-	12.11.20	209	-	-	14.12.20	233	-	
15.10.20	220	-	-	16.11.20	230	-	-	17.12.20	208	-	
19.10.20	266	-	-	19.11.20	210	-	-	21.12.20	206	-	
22.10.20	204	-	-	23.11.20	264	-	-	24.12.20	184	0,53 ± 0,14	
26.10.20	280	-	-	26.11.20	158	-	-	28.12.20	281	-	
29.10.20	212	-	-	30.11.20	211	-	-	31.12.20	192	-	



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2020 (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		
3.1.20	197	-	3.2.20	190	-	2.3.20	213	-	2.4.20	233	-
6.1.20	143	-	6.2.20	151	-	5.3.20	159	-	6.4.20	289	-
9.1.20	150	-	10.2.20	198	-	9.3.20	211	-	9.4.20	196	-
13.1.20	191	-	13.2.20	136	-	12.3.20	137	-	14.4.20	312	-
16.1.20	153	-	17.2.20	194	-	16.3.20	204	-	16.4.20	129	-
20.1.20	197	-	20.2.20	146	-	19.3.20	147	-	21.4.20	308	-
23.1.20	154	-	24.2.20	184	-	23.3.20	192	-	23.4.20	127	-
27.1.20	196	-	27.2.20	155	-	26.3.20	144	-	28.4.20	309	-
30.1.20	143	-				30.3.20	299	-	30.4.20	132	-
Maj			Junij			Julij			Avgust		
4.5.20	247	-	1.6.20	252	-	2.7.20	215	-	3.8.20	258	-
7.5.20	186	-	4.6.20	193	-	6.7.20	294	-	6.8.20	210	-
11.5.20	244	-	8.6.20	293	-	9.7.20	203	-	10.8.20	260	-
14.5.20	185	-	11.6.20	239	-	13.7.20	287	-	13.8.20	197	-
18.5.20	251	-	15.6.20	271	-	16.7.20	209	-	17.8.20	250	-
21.5.20	184	-	18.6.20	216	-	20.7.20	276	-	20.8.20	189	-
25.5.20	272	-	22.6.20	288	-	23.7.20	225	-	24.8.20	233	-
28.5.20	202	-	29.6.20	481	-	27.7.20	258	-	27.8.20	205	-
						30.7.20	206	-	31.8.20	255	-
September			Oktober			November			December		
3.9.20	193	-	1.10.20	220	-	2.11.20	297	-	3.12.20	209	-
7.9.20	260	-	5.10.20	273	-	5.11.20	213	-	7.12.20	254	-
10.9.20	193	-	8.10.20	223	-	9.11.20	282	-	10.12.20	199	-
14.9.20	254	-	12.10.20	262	-	12.11.20	219	-	14.12.20	256	-
17.9.20	198	-	15.10.20	213	-	16.11.20	269	-	17.12.20	202	-
21.9.20	265	-	19.10.20	273	-	19.11.20	219	-	21.12.20	138	-
24.9.20	206	-	22.10.20	198	-	23.11.20	260	-	24.12.20	194	-
28.9.20	269	-	26.10.20	260	-	26.11.20	205	-	28.12.20	264	-
			29.10.20	222	-	30.11.20	252	-	31.12.20	201	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2020 (Oznaka: 1.7D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,139
februar	0,081
marec	0,079
april	0,065
maj	0,087
junij	0,106
julij	0,142
avgust	0,126
september	0,101
oktober	0,115
november	0,087
december	0,101
skupaj 2020	1,246



Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2020 (Oznaka: 2.1G)

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
16.01.2020	10,5	-
05.02.2020	10,2	-
25.03.2020	10,4	-
09.04.2020	10,5	-
05.05.2020	10,5	-
03.06.2020	10,4	-
08.07.2020	10,3	-
05.08.2020	10,1	-
08.09.2020	10,1	-
01.10.2020	10,2	-
11.11.2020	10,3	-
03.12.2020	10,5	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Dodatne meritve F2, IJS:

Koda vzorca: P20-VR1262-51 PR20-VR1262-91		
Datum: 27. 05. 2020 08. 09. 2020		
Izotop	A [Bq/m ³]	
Be-7	11,0 ± 1,7	2,7 ± 0,89
K-40	51,0 ± 8,1	22,0 ± 2,6
Cs-137	< 0,27	0,77 ± 0,2
Pb-210	29,0 ± 1,7	19,0 ± 2,3
Ra-226	0,84 ± 0,21	4,00 ± 0,73
Ra-228	0,38 ± 0,23	0,79 ± 0,86
Th-228	0,15 ± 0,06	1,2 ± 0,25
U-238	2,80 ± 0,60	5,3 ± 1,9

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save 13. 10. 2020 (Oznaka: 2.2G – 2.3G)

masa [g]	311		345	
Izotop	A/m [Bq/kg]			
	nad izpustom		pod izpustom	
K-40	230 ± 18		480 ± 36	
Cs-137	3,71 ± 0,44		2,69 ± 0,51	
Ra-226	22,0 ± 1,9		36,1 ± 3,1	
Ra-228	19,4 ± 1,6		39,0 ± 3,0	
Th-228	18,3 ± 1,5		36,6 ± 2,9	
U-238	29,2 ± 8,2		29,3 ± 9,5	

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja – 13. 10. 2020 na SV strani RC (Oznaka: 2.4G)

Izotop	masa [g]		A/S [kBq/m ²] Depozit 0 – 20 cm	
	274			264
	A/m [Bq/kg]			
	0 - 10 cm	10 - 20 cm		
K-40	397 ± 31	418 ± 33	-	
Cs-137	32,6 ± 2,9	31,0 ± 2,7	5,91 ± 0,70	
Pb-210	33,6 ± 16,9	46,7 ± 17,6	-	
Ra-226	60,0 ± 5,1	62,5 ± 5,4	-	
Ra-228	42,2 ± 3,3	42,5 ± 3,3	-	
Th-228	40,7 ± 3,3	41,8 ± 3,4	-	
U-238	59,9 ± 11,8	41,8 ± 11,9	-	



Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2020 (Oznaka: 2.6D – 2.9D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,074	0,081	0,086	0,084
februar	0,066	0,084	0,082	0,086
marec	0,063	0,081	0,081	0,085
april	0,064	0,088	0,082	0,079
maj	0,065	0,080	0,082	0,088
junij	0,057	0,073	0,078	0,071
julij	0,066	0,082	0,076	0,088
avgust	0,062	0,075	0,085	0,078
september	0,064	0,078	0,083	0,081
oktober	*	0,079	0,081	0,080
november	0,058	0,087	0,078	0,090
december	0,071	0,087	0,093	0,090
skupaj 2020	0,775*	0,975	0,987	1,000

* Opomba: V oktobru se je ob prenovi vratarnice dozimeter J izgubil. Zaradi primerljivosti rezultatov smo za oktober k vsoti prišteli vrednost povprečja ostalih mesecev.

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ 14. 10. 2020 na SV strani RC (Oznaka: 2.10IS)

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
Be-7	11,9 ± 3,3	0,39 ± 0,11
K-40	274 ± 30	-
Cs-137	19,2 ± 2,3	0,71 ± 0,09
Ra-226	28,8 ± 3,6	-
Ra-228	28,4 ± 3,3	-
Th-228	28,4 ± 3,1	-

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja – 13. 10. 2020 pred vhomom v vročo celico (Oznaka: 2.12G)

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
13. 10. 2020	58	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2020 (Oznaka: 3.1G)

Datum	P _{reakt.} [kW]	Na-24 [Bq/kg]	Ar-41 [Bq/kg]	Cr-51 [Bq/kg]	Mn-54 [Bq/kg]	Mn-56 [Bq/kg]
06.01.2020	0	-	-	-	-	-
13.01.2020	0	101 ± 8	-	24,2 ± 5,0	1,90 ± 0,49	-
20.01.2020	0	26,6 ± 2,5	-	11,3 ± 3,1	-	-
27.01.2020	0	5,6 ± 0,86	-	8,57 ± 3,27	0,92 ± 0,37	-
03.02.2020	0	13,5 ± 1,4	-	-	-	-
10.02.2020	0	-	-	-	-	-
17.02.2020	0	-	-	-	-	-
24.02.2020	0	3,92 ± 0,71	-	-	-	-
02.03.2020	0	94,3 ± 7,5	6506 ± 498	-	-	294 ± 23
09.03.2020	0	186 ± 15	9334 ± 714	-	-	744 ± 57
21.04.2020	0	-	-	-	-	-
04.05.2020	0	-	-	-	-	-
15.05.2020	0	-	-	10,3 ± 2,6	1,27 ± 0,33	-
19.05.2020	0	2,45 ± 0,54	41,0 ± 3,6	-	-	2,14 ± 0,67
25.05.2020	0	-	-	-	-	-
01.06.2020	0	4,47 ± 0,76	-	12,1 ± 3,4	1,76 ± 0,45	-
08.06.2020	0	2,4 ± 0,72	-	-	-	-
18.06.2020	0	177 ± 14	-	-	-	-
22.06.2020	0	4,97 ± 0,77	-	7,52 ± 2,82	-	-
30.06.2020	0	59,5 ± 5,0	6724 ± 516	-	-	308 ± 25
06.07.2020	250	67,0 ± 5,5	10561 ± 807	-	-	385 ± 30
13.07.2020	0	85,3 ± 6,9	-	22,3 ± 4,6	-	-
20.07.2020	0	28,2 ± 2,6	-	7,88 ± 2,67	1,01 ± 1,2	-
27.07.2020	0	10,7 ± 1,2	-	11,1 ± 3,6	-	-
03.08.2020	0	-	-	-	-	-
10.08.2020	0	10,3 ± 1,2	-	-	-	-
13.08.2020	250	775 ± 60	28781 ± 2200	-	-	1310 ± 100
24.08.2020	0	-	-	8,93 ± 3,65	-	-
31.08.2020	0	32,7 ± 2,8	-	12,4 ± 3,9	0,92 ± 0,4	-
07.09.2020	0	5,51 ± 0,82	-	18,8 ± 3,7	2,71 ± 0,58	-
14.09.2020	0	-	-	-	-	-
21.09.2020	0	-	-	-	-	-
28.09.2020	0	34,3 ± 3,0	-	17,5 ± 3,6	2,49 ± 0,60	-
05.10.2020	0	17,8 ± 1,7	-	-	1,34 ± 0,42	-
12.10.2020	0	44,6 ± 3,9	-	25,7 ± 4,9	1,95 ± 0,49	-
19.10.2020	0	-	-	-	1,14 ± 0,40	-
27.10.2020	0	-	-	-	-	-
02.11.2020	0	2,68 ± 0,57	-	-	-	-
09.11.2020	5	25,6 ± 2,4	1561 ± 122	-	-	75,2 ± 7,4
16.11.2020	0	10,0 ± 1,3	-	-	-	-
23.11.2020	0	8,62 ± 1,08	-	-	-	-
30.11.2020	0	-	-	-	-	-
07.12.2020	0	-	-	-	-	-
14.12.2020	0	1,49 ± 0,51	-	-	-	-
22.12.2020	0	120 ± 10	29,2 ± 5,7	-	-	-

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]
06.01.2020	0	-	-	-	-	-
13.01.2020	0	4,04 ± 0,74	-	9,46 ± 1,25	2,26 ± 0,65	3,97 ± 1,43
20.01.2020	0	2,35 ± 0,51	-	7,94 ± 1,10	1,63 ± 0,54	-
27.01.2020	0	1,81 ± 0,48	-	2,49 ± 0,49	-	-
03.02.2020	0	-	-	3,79 ± 0,57	-	-
10.02.2020	0	0,56 ± 0,37	1,60 ± 0,46	0,73 ± 0,31	-	-
17.02.2020	0	0,98 ± 0,40	1,30 ± 0,45	-	-	3,31 ± 1,56
24.02.2020	0	2,66 ± 0,49	-	-	-	-
02.03.2020	0	-	-	5,82 ± 1,17	-	-
09.03.2020	0	-	-	3,38 ± 1,19	-	-
21.04.2020	0	-	-	-	-	-
04.05.2020	0	-	-	-	-	-
15.05.2020	0	2,88 ± 0,43	0,96 ± 0,29	1,17 ± 0,35	-	-
19.05.2020	0	-	-	0,68 ± 0,24	-	-
25.05.2020	0	-	-	-	-	-
01.06.2020	0	3,52 ± 0,60	0,69 ± 0,41	2,66 ± 0,77	-	-
08.06.2020	0	1,75 ± 0,43	-	2,29 ± 0,56	-	-
18.06.2020	0	0,94 ± 0,58	2,34 ± 0,78	3,85 ± 0,79	1,41 ± 0,59	7,78 ± 1,64
22.06.2020	0	1,75 ± 0,50	1,14 ± 0,47	2,23 ± 0,55	-	-
30.06.2020	0	-	-	-	-	-
06.07.2020	250	-	-	-	-	-
13.07.2020	0	2,90 ± 0,58	1,00 ± 0,50	15,4 ± 1,8	1,96 ± 0,56	5,76 ± 1,50
20.07.2020	0	1,65 ± 0,43	2,09 ± 0,49	2,77 ± 0,61	-	-
27.07.2020	0	1,76 ± 0,46	1,38 ± 5,12	1,50 ± 0,40	-	-
03.08.2020	0	1,45 ± 0,37	-	-	-	-
10.08.2020	0	1,02 ± 0,33	-	-	-	-
13.08.2020	250	-	-	9,67 ± 2,67	-	33,0 ± 13,5
24.08.2020	0	1,79 ± 0,48	3,71 ± 0,5	-	-	-
31.08.2020	0	2,18 ± 0,58	1,68 ± 0,4	-	-	-
07.09.2020	0	4,02 ± 0,61	2,22 ± 0,41	3,20 ± 0,54	-	-
14.09.2020	0	2,52 ± 0,49	2,13 ± 0,52	-	-	-
21.09.2020	0	-	1,97 ± 0,51	1,22 ± 0,31	-	-
28.09.2020	0	4,07 ± 0,65	2,08 ± 0,56	6,04 ± 0,80	1,04 ± 0,42	-
05.10.2020	0	2,67 ± 0,50	1,28 ± 0,51	1,60 ± 0,45	-	-
12.10.2020	0	3,87 ± 0,66	-	6,58 ± 1,07	2,47 ± 0,66	-
19.10.2020	0	2,06 ± 0,49	-	1,80 ± 0,43	-	-
27.10.2020	0	-	-	-	-	-
02.11.2020	0	-	-	-	-	-
09.11.2020	5	-	-	6,68 ± 1,10	-	-
16.11.2020	0	1,84 ± 0,46	-	-	-	-
23.11.2020	0	-	-	-	-	-
30.11.2020	0	0,66 ± 0,33	-	-	-	-
07.12.2020	0	-	-	-	-	-
14.12.2020	0	-	-	-	-	-
22.12.2020	0	2,77 ± 0,71	-	5,13 ± 0,89	-	-



Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2020 (Oznaka: 3.2G)

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
09.01.2020	-
26.02.2020	-
11.03.2020	-
22.04.2020	-
06.05.2020	-
03.06.2020	-
06.07.2020	-
06.08.2020	-
01.09.2020	-
08.10.2020	-
04.11.2020	-
15.12.2020	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2020 (Oznaka: 3.3G)

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]
06.01.2020	6,0	-
05.02.2020	6,0	-
02.03.2020	6,0	-
16.04.2020	6,0	0,92 ± 3,98
06.05.2020	6,0	-
03.06.2020	6,0	-
01.07.2020	6,0	-
05.08.2020	6,0	-
03.09.2020	6,0	-
01.10.2020	6,0	-
02.11.2020	6,0	-
02.12.2020	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 2020 smo sodelovali na dveh mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIŠ za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2019, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2020.

NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2019

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, višje koncentracije

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIŠ	NPL	
Na-22	15,72 ± 1,01	16,672 ± 0,140	ustreza
Mn-54	11,24 ± 0,88	11,446 ± 0,086	ustreza
Ba-133	15,80 ± 1,01	16,940 ± 0,240	ustreza
Cs-137	8,51 ± 0,67	8,61 ± 0,13	ustreza



Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu, nižje koncentracije

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIŠ	NPL	
Co-58	26,73 ± 3,57	34,64 ± 0,48	delno ustreza
Cs-134	19,28 ± 1,25	19,57 ± 0,56	ustreza
Am-241	3,02 ± 0,63	2,508 ± 0,011	delno ustreza

Vse izmerjene aktivnosti za vodni vzorec z višjo koncentracijo radionuklidov ustrezajo kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator. Količina NPL vzorca je bila manjša od standardne količine, ki jo uporabljamo za pripravo akreditiranih vzorcev na SVPIŠ. Zato smo merili manjše vzorce in prilagodili uporabljeno geometrijo za izračun rezultatov. Kljub temu, da ob spremembi geometrije običajno poročamo večjo negotovost, smo zaradi majhne spremembe geometrije poročali negotovosti kot pri akreditiranih meritvah. Pri Na-22 in Ba-133 imamo sicer večje odstopanje proti nižjim vrednostim, vendar se je izkazalo, da so povprečni rezultati vseh udeležencev pomaknjeni močno proti nižjim vrednostim v primerjavi z vrednostmi, kot jih je določil NPL.

Vodni vzorec z nižjimi koncentracijami radionuklidov smo pripravili v akreditirani geometriji. Rezultata za Co-58 in Am-241 odstopata bolj kot predvidevajo kriteriji sprejemljivosti organizatorjev. Vendar sta oba rezultata v okviru naše nekoliko večje negotovosti sprejemljiva.

IAEA-TEL-2020-04 ALMERA proficiency test on determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, fish and simulated aerosol filter samples

Vsebnost umetnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Cs-134	32,23 ± 1,08	33,50 ± 0,50	ustreza
Cs-137	63,22 ± 5,64	64,40 ± 0,90	ustreza
Na-22	73,69 ± 5,73	76,80 ± 1,20	ustreza

Vsebnost naravnih radionuklidov v drugem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Tl-208	3,49 ± 0,51	2,20 ± 0,20	ne ustreza
Pb-212	8,26 ± 1,01	6,00 ± 0,50	ne ustreza
Ac-228	21,99 ± 2,03	24,70 ± 1,00	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na prvem filtru

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Se-75	17,78 ± 1,14	18,10 ± 1,00	ustreza
Ag-110m	57,41 ± 3,07	55,10 ± 4,00	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na drugem filtru

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Se-75	31,55 ± 2,01	31,30 ± 1,50	ustreza
Ag-110m	37,54 ± 2,02	35,10 ± 3,00	ustreza



Vsebnost umetnih radionuklidov na tretjem filtru

Izotop	A [Bq/kg]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Se-75	110,81 ± 7,02	113,40 ± 2,00	ustreza
Ag-110m	20,24 ± 1,10	19,20 ± 1,40	ustreza

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

Za naravne radionuklide v drugem vodnem vzorcu, ki so prisotni v koncentracijah znatno nad mejo detekcije, se naši rezultati dobro ujemajo z referenčnimi vrednostmi. Za radionuklida, katerih koncentracija je blizu meje detekcije (Tl-208, Pb-212), se naši in referenčni rezultati ne ujemajo.

Vzorca rib nismo merili, saj takih vzorcev nikoli ne merimo in nimamo izkušenj z njihovo pripravo.

5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2020 zaradi epidemiološke situacije nismo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu.

Kljub neugodni epidemiološki situaciji pa so bile na reaktorskem centru izvedene primerjalne meritve PRIMER, kjer so rezultati potrdili ustreznost meritev [11]. Pregled rezultatov meritev hitrosti doze kaže dobro ujemanje znotraj 20 %.

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur.l. RS 27/18) smo v letu 2020 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščen organizacije (ZVD). Primerjali smo meritve zračnega filtra dimnika reaktorja, vzorčenega 8. 10. 2020. Filter smo še isti dan merili na reaktorskem centru, naslednji dan pa ga je meril še ZVD. Merili smo filter ob dolgotrajnejšem obratovanju reaktorja na polni moči, da so bili prisotni umetni radionuklidi, ki jih je lažje primerjati.

Izotop	A [Bq/kg]		A _{SVPIS} /A _{ZVD}	u-test
	SVPIS	ZVD		
Na-22	16,2 ± 1,1	17 ± 1	0,95	0,57
Br-82	0,53 ± 0,05	0,54 ± 0,04	0,99	0,09

Rezultate smo primerjali z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za $u = \frac{|A_{SVPIS} - A_{ZVD}|}{\sqrt{u_{SVPIS}^2 + u_{ZVD}^2}}$ je $u < 1,96$, kjer sta u_{SVPIS} in u_{ZVD} negotovosti meritev. V okviru u-testa se vsi rezultati meritev 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 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 2020, IJS-DP-13396, 2020
13. Radiološki pregled virov sevanja, Reaktorski infrastrukturni center, 36/20-N, 2020
14. IAEA-TEL-2020-04 ELMERA Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report Part I, 2020
15. NPL Report IR 57, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2019 – Final Report, Elsje van Es et. al., 2020
16. Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998