

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-12999  
Ljubljana, januar 2020

# MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



## POROČILO ZA LETO 2019

Leto izdaje: 2020    Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar	11. 2. 2020	
Pregledal	mag. Matjaž Stepišnik	11. 2. 2020	
Odobril	prof. dr. Jadran Lenarčič, direktor IJS		JADRAN LENARČIČ <small>Digitally signed by JADRAN LENARČIČ Date: 2020.02.11 13:22:01 +01'00'</small>

### *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	11.02.2020	

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**





<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 2019
<i>Pogodbena številka:</i>	-
<i>Odgovorni nosilec naloge:</i>	mag. Matjaž Stepišnik
<i>Avtorji poročila:</i>	dr. Tinkara Bučar, mag. Matjaž Stepišnik
<i>Izvajalci meritev:</i>	Tanja Murn, Thomas Breznik, Tinkara Bučar, Matjaž Stepišnik
<i>Štev.del.por. IJS:</i>	IJS-DP-12999
<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.

## 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 im 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. Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama PRIMER 2019, IJS-DP-12998, 2020
12. Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2019, Ronneburg, Nemčija, IJS-DP-12876, 2019
13. IAEA-TEL-2019-04 ELMERA Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report Part I, 2019
14. NPL Report IR 56, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2018 – Final Report, Julian Dean et. al., 2019
15. Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998



## VSEBINA

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>VZORČEVALNE LOKACIJE .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>OVREDNOTENJE MERITEV .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>MERITVE IZPUSTOV .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2</b>	<b>MERITVE V OKOLJU .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>OCENA VPLIVOV .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>ATMOSFERSKI IZPUSTI .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>TEKOČINSKI IZPUSTI .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>MERSKI REZULTATI.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2</b>	<b>PREGLED TABEL .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN .....</b>	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>MERSKE METODE.....</b>	<b>34</b>
<b>5.5</b>	<b>ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6</b>	<b>PRIMERJALNE MERITVE.....</b>	<b>35</b>
<b>5.7</b>	<b>NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA .....</b>	<b>37</b>



## 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 2019 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 1,2 TBq. Na podlagi konzervativnih predpostavk je bila letna efektivna doza zunanjskega sevanja na prebivalca v okolici Reaktorskega centra zaradi atmosferskih izpustov ocenjena na manj kot 1  $\mu\text{Sv}$ , kar je enako kot v letu 2018.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila za leto 2019 konzervativno ocenjena na manj kot 0,01  $\mu\text{Sv}$ , kar je primerljivo s preteklimi leti.

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  $\mu\text{Sv}$  na leto.



## 1 Uvod

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2019 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  $\mu\text{Sv}$  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.

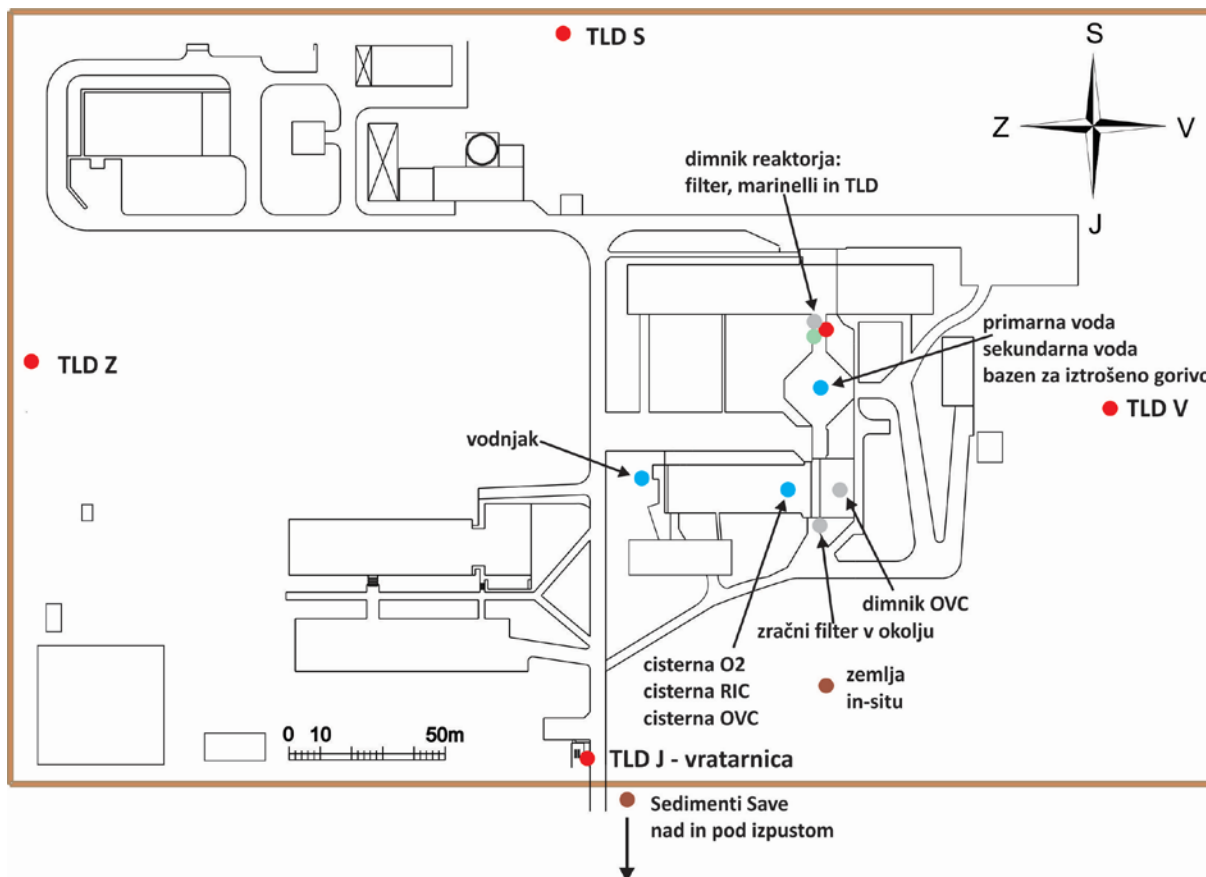
Za nadzorne meritve se uporabljajo tri merske metode: visokoločljivostna spektrometrija gama, meritve hitrosti doze in termoluminiscenčna dozimetrija. Opisane so v poglavju 5.4. Usposobljenost laboratorija za izvajanje nadzornih meritev potrjujemo s primerjalnimi meritvami (poglavje 5.6) in z neodvisnim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

V letu 2019 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 723 ur, kar je 6 % več kot v letu 2018. 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 Slika 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 2019*



## 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 zunanjšega 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 2019 so združeni v tabelah Tabela M1 in Tabela M2. V cisterni O2 smo zaznali prisotnost Hg-197 in Mn-54, v cisterni drenaže reaktorja pa letos nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov. Vse izmerjene aktivnosti so bile pod dopustnimi koncentracijami za izpust v okolje, povzetimi po UV1, tabela 1. Največja koncentracija aktivnosti v cisterni O2 je bila izmerjena oktobra (11,98 Bq/kg Hg-197). Cisterna reaktorja je bila v letu 2019 izčrpana petkrat. Tekočine iz zadrževalne cisterne drenaže OVC nismo merili, saj je bila cisterna celo leto suha.

#### 3.1.2 Zračni izpusti

Pri atmosferski prenosni poti je najpomembnejše izpuščanje Ar-41 iz prezračevalnega sistema reaktorja. V votlih delih ob sredici (obsevalni kanali) iz naravnega argona Ar-40 v zraku z aktivacijo nastaja radioaktivni Ar-41, ki ima kratko razpolovno dobo (1,83 ure). Argon vzorčujemo v dimniku reaktorja enkrat mesečno, tako da 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 m<sup>3</sup>. Na enak način vzorčimo zračne delce tudi na izpuhu iz OVC.

Vsebnosti Ar-41 v dimniku reaktorja so v tabeli Tabela M3. Aktivnost argona v dimniku je odvisna od postavitve eksperimentalne opreme v tangencialnih kanalih in od delovanja ventilacijskega sistema. Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2019 je bila 150 kBq/m<sup>3</sup>, največja koncentracija pa je bila tako kot že dve leti pred tem izmerjena v januarju 156 kBq/m<sup>3</sup>. Povprečna vrednost je enaka kot v letu 2018 (150 kBq/m<sup>3</sup>), podobna kot v letu 2017 (154 kBq/m<sup>3</sup>) in višja kot v letu 2016 (136 kBq/m<sup>3</sup>).

Prvo povišanje aktivnosti smo opazili v letu 2015, ko je bila odstranjena stara eksperimentalna oprema v tangencialnem kanalu 6 in kanal zaprt. Ob koncu leta 2016 smo v kanal namestili novo eksperimentalno opremo (kanal je ostal odprt), zaradi česar se je aktivnost še nekoliko povišala. Ob nadaljnjih spremembah eksperimentalne opreme lahko pričakujemo, da se bo aktivnost argona v dimniku ustrezno spreminjala. Poleg postavitve eksperimentalne opreme na aktivnost argona v dimniku vpliva tudi ventilacijski sistem reaktorske hale, s katero je reguliran pretok zraka v dimniku. Na filtrih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2019 enkrat zaznali prisotnost Na-24 in Br-82 zelo nizkih aktivnosti, primerljivih z mejo detekcije. V tem letu nismo





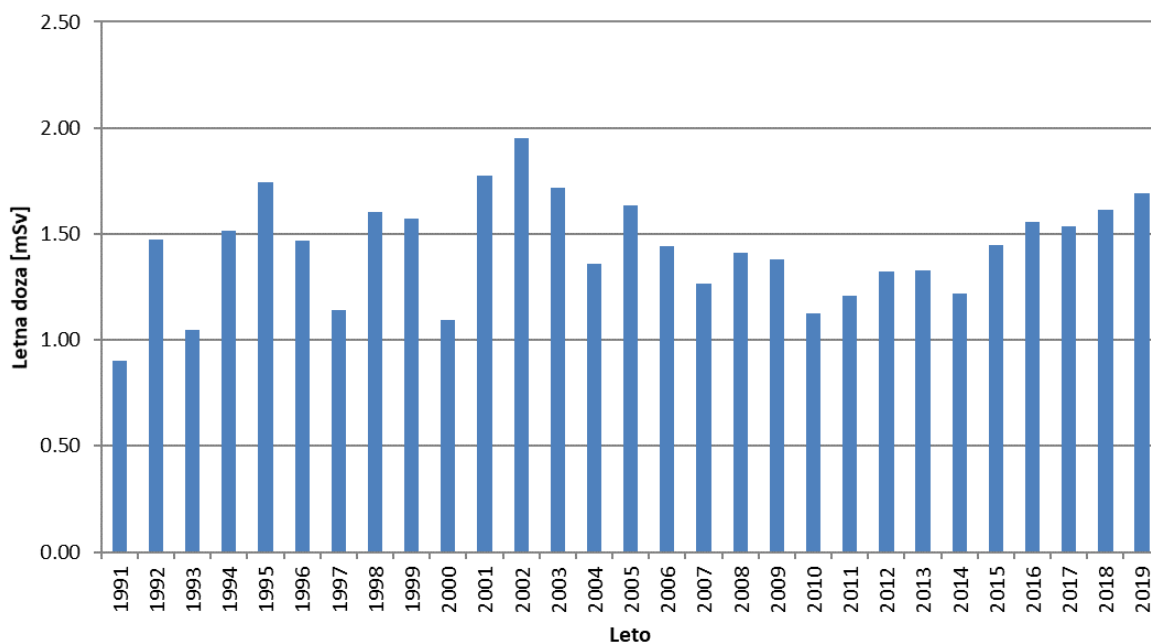
zaznali prisotnosti drugih radionuklidov, vendar lahko v prihodnosti še vedno pričakujemo občasno prisotnost npr. Sb-122 ali Sb-124. V letu 2017 se je namreč med obsevanjem v obsevalnem kanalu vrtiljaka poškodovala kapsula standardnega vodnega vzorca, pripravljene za nevtronsko aktivacijsko analizo, zaradi česar so v obsevalnem kanalu ostali sledovi vzorca. Rezultati meritev zračnih filtrov v dimniku reaktorja in v vročih celicah so zbrani v tabelah Tabela M4 in Tabela M5.

### 3.1.3 Zunanje sevanje

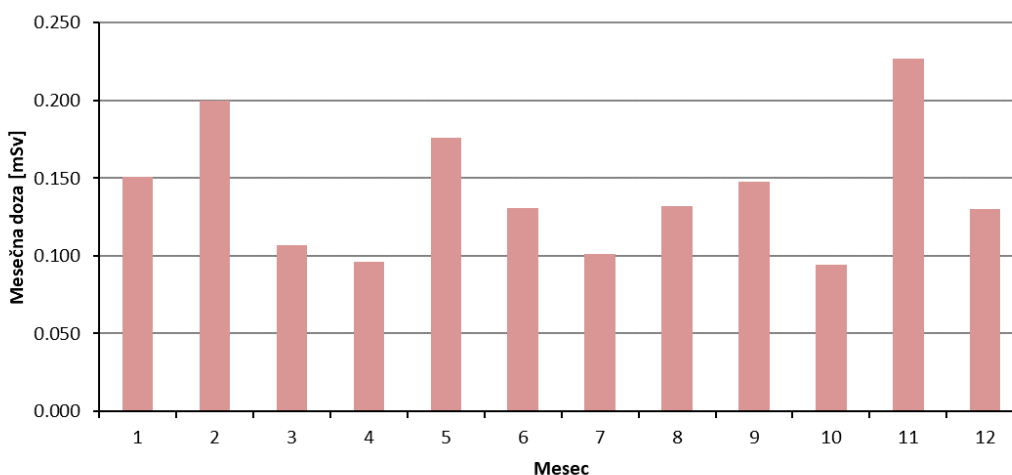
V dimniku reaktorja je nameščen TLD, katerega doza je korelirana s trajanjem in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega polurni odčitki so predstavljeni na sliki 6 in podrobneje opisani v poglavju 3.2.4.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2019 prikazane na sliki 2. Vrednosti segajo od naravne letne doze TLD (0,9 mSv) do dvakratnega ozadja (največ 2,0 mSv za leto 2002) in so odvisne od obratovanja reaktorja. Za leto 2019 je bila skupna letna doza TLD 1,7 mSv, primerljivo z letom 2018, in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.

Na sliki Slika 2 je viden postopen trend naraščanja letne doze od leta 2010 dalje, kar je povezano s povečanjem obratovalnih ur delovanja reaktorja.



*Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2019*



*Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2019 (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 Slika 1). Poleg rednih mesečnih meritev vzorcev vode iz vodnjaka so v letu 2019 dvakrat vodo vzorčili in merili tudi sodelavci IJS odseka F2. Rezultati meritev so v tabeli Tabela 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.

### 3.2.2 Sedimenti Save

Meritve vzorcev sedimenta reke Save (tabela 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 2019 izmerjene koncentracije Cs-137 na meji detekcije (1,0 Bq/kg nad in 2,1 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.

### 3.2.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku pred Objektivom Vroča celica na jugovzhodni strani reaktorja (tabela 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 52 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.



### 3.2.4 Zunanje sevanje

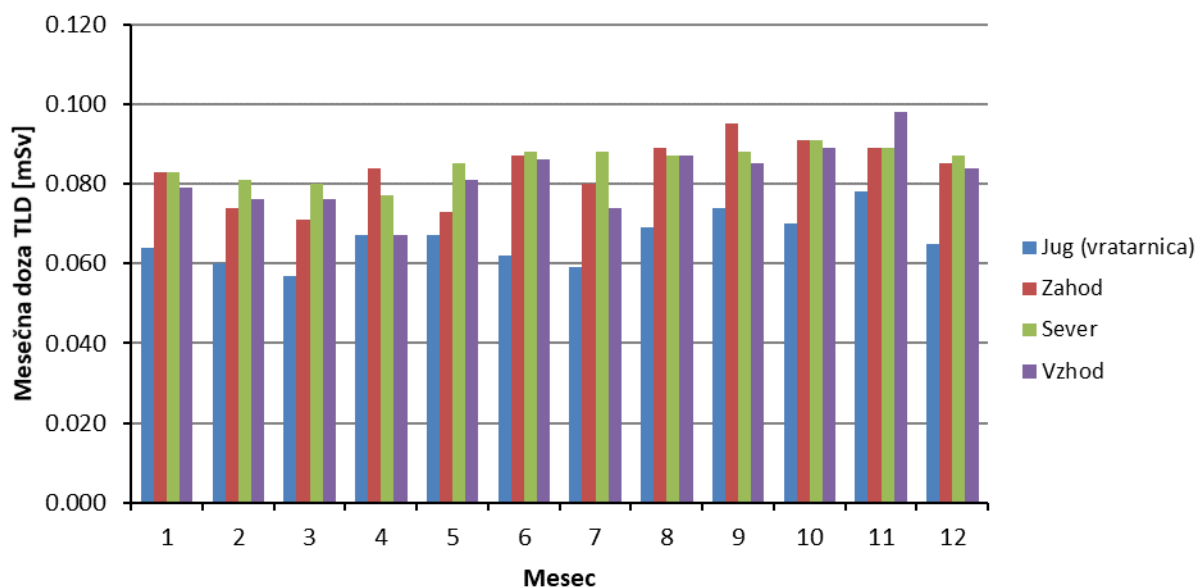
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih (tabela Tabela 1).

*Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD*

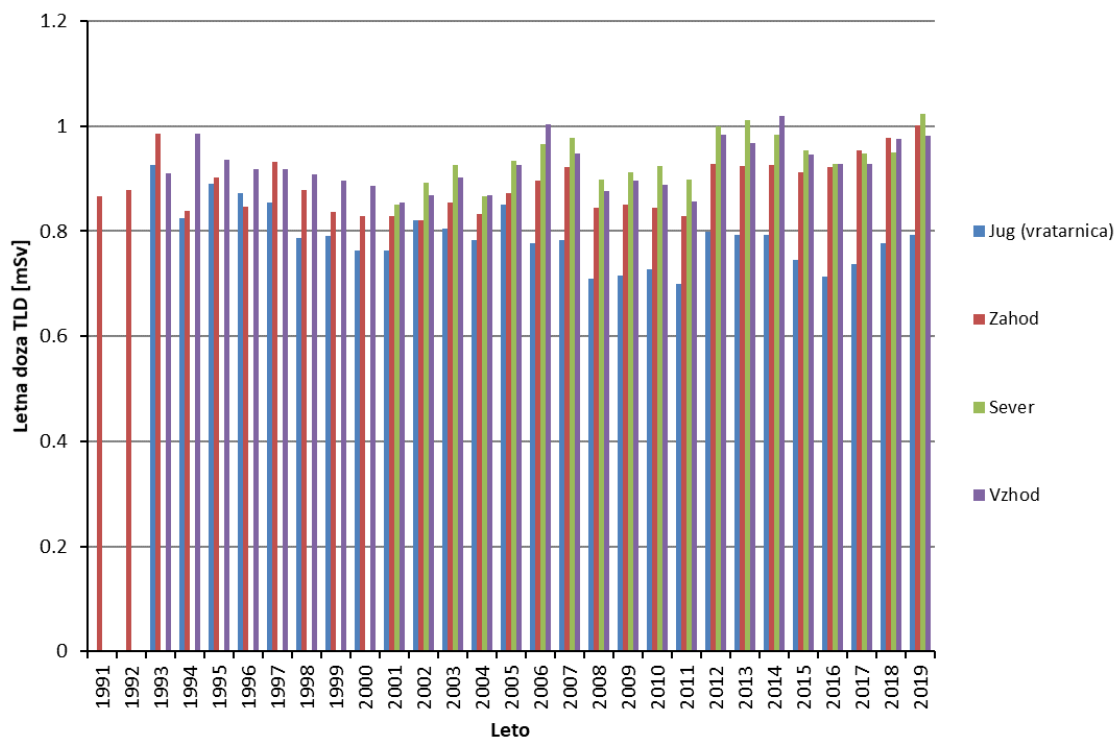
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	Ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

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

Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2019 so na sliki Slika 4 in v tabeli Tabela M10 in letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev na sliki Slika 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 2019 (Oznaka 2.6D – 2.9D)*



Slika 5: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2019

Na sliki Slika 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 povzročajo žlahtni plin Ar-41, kar je razvidno tudi iz primerjave mesečnih doz na vzhodni kontrolni točki (tabela Tabela M10) s tistimi na izpuhu iz reaktorja (tabela 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 Slika 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  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ . Vzrok za povišane vrednosti je bila odstranitev eksperimentalne opreme iz tangencialnega kanala 6 v reaktorju, zaradi česar se je povečala količina zraka v bližini reaktorske sredice. Ob delovanju reaktorja se tako aktivira večja količina argona kot doslej, kar zaznamo kot povišane vrednosti hitrosti doze na izpuhu reaktorja. Podobne spremembe lahko ob morebitnih bodočih spremembah eksperimentalnih postavitve v reaktorju pričakujemo tudi v prihodnosti.



*Slika 6: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2019 – 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 ugotovljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj Reaktorskega centra ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju Reaktorskega centra.

Spektrometrijo gama in-situ smo izvedli s prenosnim HPGe spektrometrom na travniku južno od reaktorja. Rezultati meritev v tabeli Tabela M11 (enakomerna porazdelitev) se s korekcijo na suho snov v okviru merilne negotovosti ujemajo z meritvami zgornje plasti zemlje (tabela 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. Vrednost za Cs-137 29 Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve je primerljiva z vrednostjo meritev v letu 2018 30 Bq/kg (lokacija JV).

Hitrost doze znotraj ograje Reaktorskega centra (slika 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 Slika 8 in Slika 9. Izmerjene hitrosti doze znotraj ograje Reaktorskega centra in v okoliških naseljih so primerljive z nivoji sevanja drugod po Sloveniji.

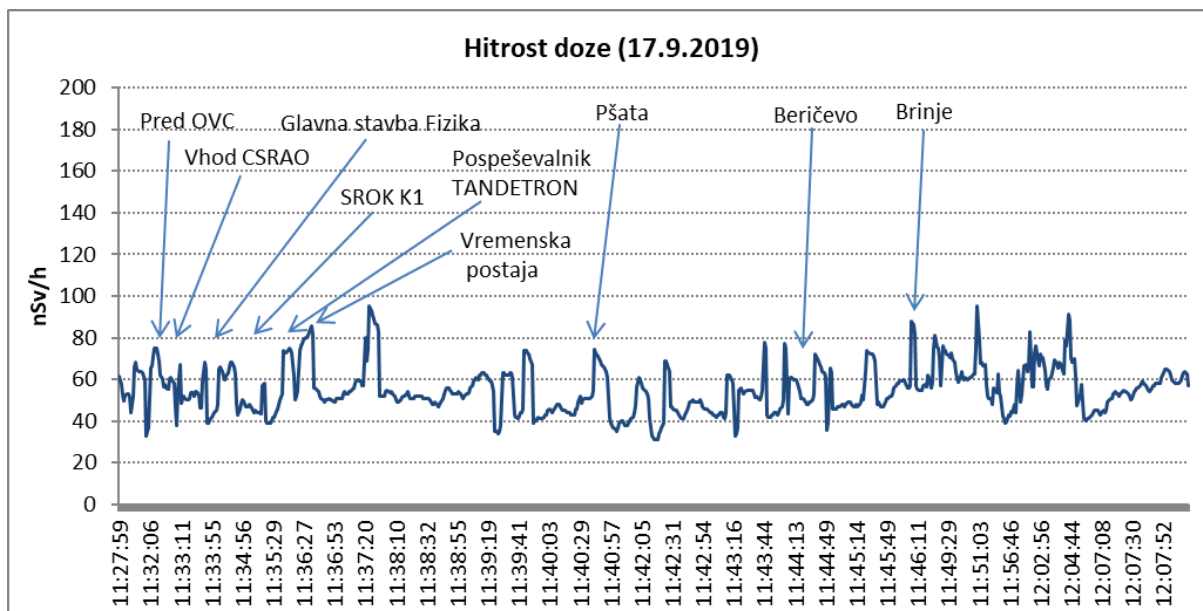


*Slika 7: Meritve hitrosti doze v okviru vaje in primerjalnih meritev med različnimi slovenskimi in hrvaškimi laboratoriji, 17. 9. 2019*

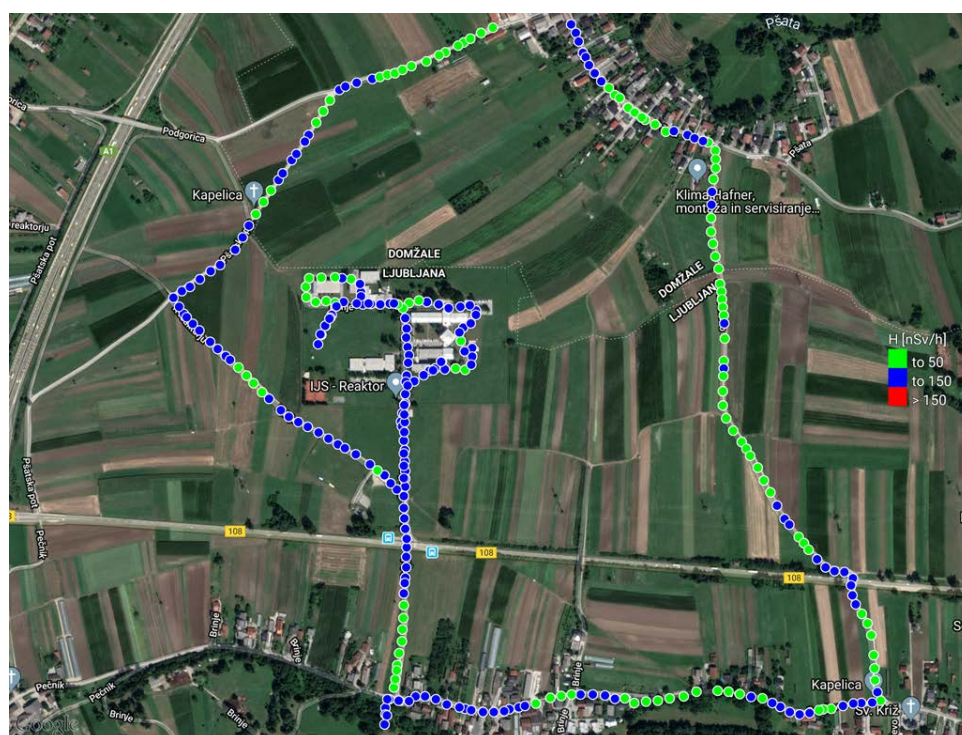


Za potrebe vzdrževanja pripravljenosti smo vzorčili tudi zračne delce s prenosnim vzorčevalnikom pred vhom v objekt vroče celice. Aerosolni filter smo izmerili v laboratoriju s spektrometrijo gama. Rezultati meritev so v tabeli Tabela M12. V vzorcu nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov.

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 8: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (17. 9. 2019) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (Oznaka: 2.11HD)



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra 17. 9. 2019 (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 Tabela M13. Skupna specifična aktivnost sevalcev gama je nekaj dni po zaustavitvi reaktorja okrog  $100 \text{ kBq/m}^3$ . K njej prispevajo aktivacijski produkti. V letu 2019 smo v primarni vodi zaznali Na-24, Ar-41, Cr-51, Mn-54, Mn-56, Co-58, Co-60, Zn-65, 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 Tabela 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 Tabela M15. V letu 2019 smo v vzorcih vode zaznali prisotnost umetnega radionuklida Co-60 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.



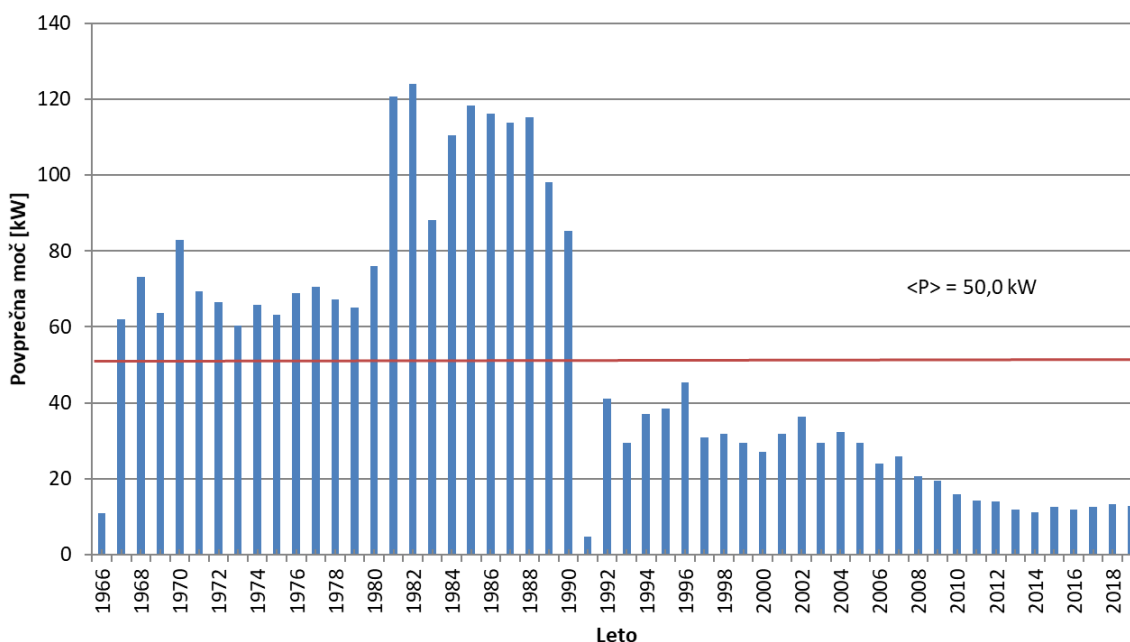
## 4 Ocena vplivov

Neposredne meritve v okolju ne kažejo na zaznaven radiološki vpliv 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. Radiološko je razmeroma nepomemben, saj kot žlahtni plin ni nevaren pri inhalaciji.

Od obnove ventilacijskega sistema leta 2010 dalje ocenjujemo povprečni pretok zraka v dimniku na okoli 5 m<sup>3</sup>/s. V letu 2019 je bila povprečna izmerjena aktivnost Ar-41 150 kBq/m<sup>3</sup> in s tem hitrost izpuščanja 0,75 MBq/s pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2019 je bila 12,9 kW (slika Slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ( $Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$ ) 39 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 1,2 TBq (1,3 TBq v 2018).



**Slika 10:** Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2019, <P> je povprečje za celotno življenjsko obdobje reaktorja TRIGE

Poleg Ar-41 smo tako kot v preteklih letih v zračnih izpustih enkrat zaznali tudi Na-24 in Br-82 (tabela Tabela M4) z največjo izmerjeno aktivnostjo 2 Bq Na-24 in 1 Bq Br-82 na filter, kar je približno 0,01 Bq/m<sup>3</sup> tako za Na-24 kot 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  $v\chi/Q$  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 Tabela 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 39 kBq/s

Oddaljenost od vira [m]:	100	500
disperzijski faktor ( $v\chi/Q$ ) razred D [ $m^{-2}$ ]	1,0E-2	5,0E-4
$\chi$ – koncentracija [ $Bq/m^3$ ]	386	19
disperzijski faktor ( $v\chi/Q$ ) razred E [ $m^{-2}$ ]	2,0E-2	1,0E-3
$\chi$ – koncentracija [ $Bq/m^3$ ]	771	39

#### 4.1.1 Ocena efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov

Pri oceni efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov smo ocenili zunanjo dozo za Ar-41, saj kot žlahtni plin ni nevaren pri inhalaciji. 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  $\mu Sv$  dan<sup>-1</sup>/ $Bq m^{-3}$  povzet iz UV2 in ICRP119,
- delež R oblaka z radijem  $\sigma_y$  glede na polneskončni oblak (tabela 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  $\sigma_y$

Oddaljenost od vira [m]:	100	500
$\sigma_y$ [m] - razred D	8	40
R – delež oblaka z radijem $\sigma_y$ glede na polneskončni oblak*	<b>0,03</b>	<b>0,14</b>
$\sigma_y$ [m] - razred E	6	30
R – delež oblaka z radijem $\sigma_y$ glede na polneskončni oblak*	<b>0,03</b>	<b>0,1</b>

\* 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 Shleien et.al., Williams and Wilkins, 1998



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

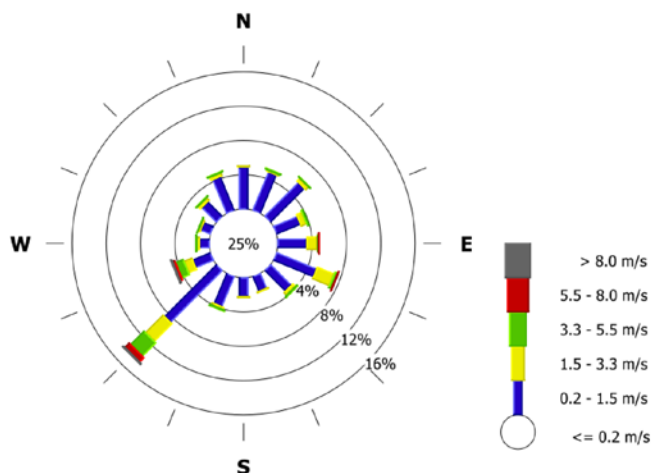
$$E_{im} = \chi \cdot D_{im}(Ar) \cdot R \cdot t \cdot d,$$

kjer je:

- $\chi$  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  $\sigma_y$  (delež polneskončnega oblaka),
- $t$  čas zadrževanja na določenem mestu,
- $d$  delež časa, ko veter piha v določeni smeri.

Iz rože vetrov za leto 2019 (slika Slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je veter v letu 2019 najpogosteje pihal proti SV, kamor je pihal 14,5 % časa s hitrostjo v povprečju 1,7 m/s. Za razliko od leta 2018, ko je bil veter enakomerneje porazdeljen po vseh smereh, je v letu 2019 spet večino časa pihal v smeri proti naselju Pšata, kot pred letom 2018. 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 Tabela 4 so izračunane hitrosti doze in efektivna letna doza za naselje Pšata.



Slika 11: Roža vetrov za leto 2019, osrednji del predstavlja brezvetrje (25 %)

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	2,56 E-4	5,96 E-5
	Letna doza [ $\mu\text{Sv}$ ]	<b>0,02</b>	<b>0,52</b>
E	Hitrost doze [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	5,11 E-4	8,52 E-5
	Letna doza [ $\mu\text{Sv}$ ]	<b>0,03</b>	<b>0,75</b>
Povprečje D in E		<b>0,03</b>	<b>0,63</b>

Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je efektivna letna doza 0,03  $\mu\text{Sv}$ . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza 0,63  $\mu\text{Sv}$ . **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  $\mu$ Sv.

## 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 2019 smo v cisterni O-2 zaznali Hg-197 in Mn-54 (tabela Tabela M1), v cisterni RIC nismo zaznali umetnih radionuklidov (tabela Tabela M2), cisterna OVC pa je bila tudi v letu 2019 suha. Največ je bilo v letu 2019 izpuščenega Hg-197 in to 56 kBq v oktobru. Skupna izpuščena aktivnost za to leto je bila 0,1 MBq (tabela Tabela 5 in slika Slika 12).

### 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:

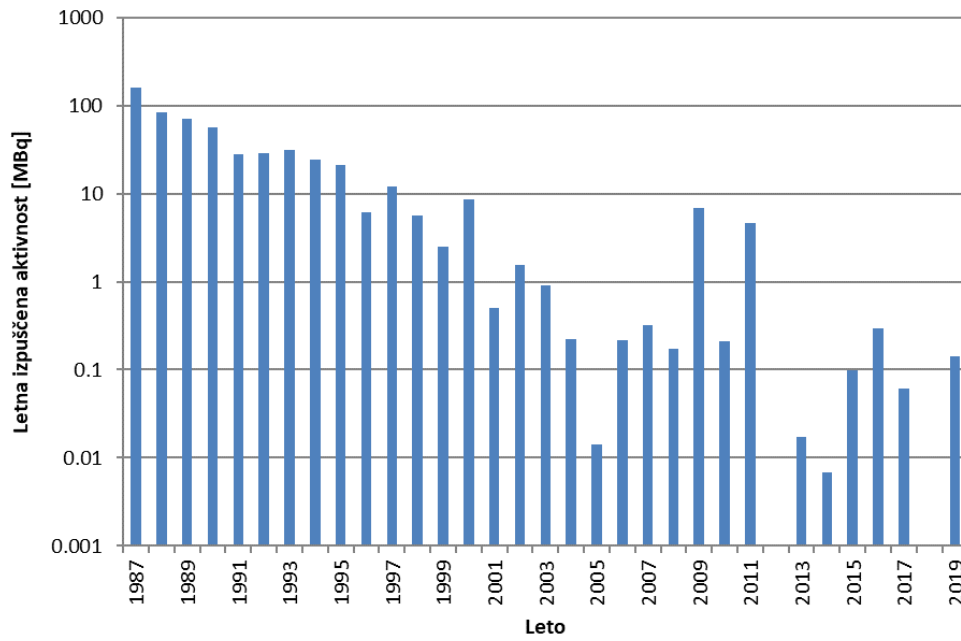
- $A_i$  letna izpuščena aktivnost izotopa  $i$ ,
- $\phi$  povprečni pretok Save (58  $\text{m}^3/\text{s}^*$ ),
- $t_{\text{izp}}$  trajanje izpusta (okrog 2 h),
- $V_1$  količina zaužite vode v enem letu (0,75  $\text{m}^3/\text{leto}$ ),
- $DF_{\text{ing},i}$  dozni faktor za ingestijo izotopa  $i$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

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

V letu 2019 smo nekajkrat zaznali umetne radionuklide v izpustih cisterne O2 (tabela Tabela M1, slika Slika 12). V tabeli Tabela 5 je ocenjena letna ingestijska doza. Efektivna letna ingestijska doza je ocenjena na manj kot 0,01  $\mu$ Sv. **Ocenjujemo, da je tudi efektivna letna doza preko tekočinskih izpustov zanemarljiva.**

Tabela 5: Ocenjena letna doza zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	$D_{\text{ing}}$ [Sv/Bq]*	E [nSv]
Mn-54	9,37E+03	7,1E-10	0,01
Hg-197	1,33E+05	2,3E-10	0,06
<b>Skupaj</b>	<b>1,43E+05</b>		<b>0,07</b>



*Slika 12: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2019*



## 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
<b>TEKOČINSKI IZPUSTI</b>					
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
<b>ZRAK</b>					
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
<b>ZUNANJE SEVANJE</b>					
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
<b>TEKOČINE</b>					
2.1G	vodnjak – podtalnica	Tekočina	VLG	1x mesečno*	1x mesečno
<b>REČNI SEDIMENT</b>					
2.2G	Sava nad izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
2.3G	Sava pod izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
<b>TLA</b>					
2.4G	Znotraj ograje RC	Zemlja 0-10 cm	VLG	1x letno	1x letno
<b>ZUNANJE SEVANJE</b>					
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
<b>MERITVE KONTAMINACIJE V OKOLJU ZA PRIMER IZREDNEGA DOGODKA</b>					
2.10IS	znotraj ograje RC (na mestu vzorca zelje)	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
<b>TEKOČINSKI IZPUSTI</b>					
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 2019 (Oznaka: 1.1G)

Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	pH	Aktivnost Hg-197 [Bq/kg]	Aktivnost Mn-54 [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	pH	Aktivnost Hg-197 [Bq/kg]
07.01.2019	5.01	7.0	-	-	15.07.2019	11.19	7.0	-
14.01.2019	5.33	7.0	-	-	22.07.2019	5.01	7.0	-
21.01.2019	4.44	7.0	-	-	29.07.2019	4.50	7.0	-
28.01.2019	5.31	7.0	-	-	05.08.2019	5.15	7.0	-
04.02.2019	4.96	7.0	-	-	12.08.2019	5.23	7.0	-
11.02.2019	4.04	7.0	-	-	19.08.2019	4.54	7.0	-
18.02.2019	4.58	7.0	-	-	26.08.2019	4.41	7.0	-
25.02.2019	4.67	7.0	-	-	02.09.2019	4.39	7.0	-
04.03.2019	4.86	7.0	-	-	09.09.2019	4.34	7.0	-
11.03.2019	4.58	7.0	7,69 ± 1,03	-	16.09.2019	4.65	7.0	-
18.03.2019	5.35	7.0	-	-	23.09.2019	4.91	7.0	5,00 ± 0,58
25.03.2019	5.50	7.0	-	-	30.09.2019	4.63	7.0	-
01.04.2019	5.43	7.0	-	-	07.10.2019	4.65	7.0	11,98 ± 1,46
08.04.2019	5.77	7.0	-	-	14.10.2019	5.26	7.0	-
15.04.2019	4.95	7.0	-	-	21.10.2019	4.67	7.0	3,79 ± 1,01
29.04.2019	9.23	7.0	-	1,02 ± 0,34	28.10.2019	4.36	7.0	-
06.05.2019	3.76	7.0	-	-	04.11.2019	4.10	7.0	-
13.05.2019	4.07	7.0	-	-	11.11.2019	4.57	7.0	-
20.05.2019	4.41	7.0	-	-	18.11.2019	4.31	7.0	-
27.05.2019	4.76	7.0	-	-	25.11.2019	4.39	7.0	-
03.06.2019	5.45	7.0	-	-	02.12.2019	5.38	7.0	-
10.06.2019	5.79	7.0	-	-	09.12.2019	5.28	7.0	-
19.06.2019	7.03	7.0	-	-	16.12.2019	4.29	7.0	-
27.06.2019	6.03	7.0	-	-	23.12.2019	4.49	7.0	-

**Tabela M2:** Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2019 (Oznaka: 1.2G)

Datum vzorčenja Cisterne RIC	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq/kg]
27.03.2019	3.27	-
20.06.2019	3.75	-
31.07.2019	3.9	-
28.08.2019	3.65	-
12.12.2019	3.57	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2019 nismo nikoli praznili.





**Tabela M3:** Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2019 (Oznaka: 1.3G)

Datum vzorčenja	P <sub>reaktorja</sub> [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m <sup>3</sup> ]
14. 1. 2019	250	156 ± 11
6. 2. 2019	250	150 ± 10
6. 3. 2019	250	152 ± 11
4. 4. 2019	250	153 ± 11
9. 5. 2019	250	154 ± 11
20. 6. 2019	250	147 ± 10
23. 7. 2019	250	143 ± 10
1. 8. 2019	250	156 ± 11
5. 9. 2019	250	151 ± 10
24. 10. 2019	250	148 ± 10
13. 11. 2019	250	149 ± 10
5. 12. 2019	250	145 ± 10
Povprečje:	250	150



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2019 (Oznaka: 1.4G)

Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]
<b>Januar</b>				<b>Februar</b>			<b>Marec</b>		
		<b>Na-24</b>	<b>Br-82</b>						
3.1.19	144	-	-	4.2.19	181	-	4.3.19	177	-
7.1.19	195	-	-	7.2.19	161	-	7.3.19	144	-
10.1.19	160	-	-	11.2.19	180	-	11.3.19	183	-
14.1.19	192	-	-	14.2.19	167	-	14.3.19	135	-
17.1.19	166	-	-	18.2.19	173	-	18.3.19	178	-
21.1.19	208	-	-	21.2.19	150	-	21.3.19	143	-
24.1.19	165	2,28 ± 0,44	1,24 ± 0,14	25.2.19	169	-	25.3.19	164	-
28.1.19	185	-	-	28.2.19	141	-	28.3.19	131	-
31.1.19	169	-	-						
<b>April</b>				<b>Maj</b>			<b>Junij</b>		
1.4.19	174	-	-	2.5.19	99	-	3.6.19	172	-
4.4.19	131	-	-	6.5.19	141	-	6.6.19	135	-
8.4.19	166	-	-	9.5.19	130	-	10.6.19	185	-
11.4.19	129	-	-	13.5.19	150	-	13.6.19	145	-
15.4.19	164	-	-	16.5.19	121	-	17.6.19	185	-
18.4.19	129	-	-	20.5.19	155	-	20.6.19	145	-
23.4.19	200	-	-	23.5.19	117	-	24.6.19	194	-
25.4.19	93	-	-	27.5.19	163	-	27.6.19	152	-
30.4.19	194	-	-	30.5.19	134	-			
<b>Julij</b>				<b>Avgust</b>			<b>September</b>		
1.7.19	204	-	-	1.8.19	156	-	2.9.19	205	-
4.7.19	159	-	-	5.8.19	206	-	5.9.19	168	-
8.7.19	205	-	-	8.8.19	158	-	9.9.19	206	-
11.7.19	155	-	-	12.8.19	206	-	12.9.19	182	-
15.7.19	207	-	-	16.8.19	212	-	16.9.19	190	-
18.7.19	162	-	-	19.8.19	158	-	19.9.19	158	-
22.7.19	199	-	-	22.8.19	156	-	23.9.19	205	-
25.7.19	163	-	-	26.8.19	213	-	26.9.19	158	-
29.7.19	185	-	-	29.8.19	163	-	30.9.19	207	-
<b>Oktober</b>				<b>November</b>			<b>December</b>		
3.10.19	165	-	-	4.11.19	246	-	2.12.19	181	-
7.10.19	194	-	-	7.11.19	147	-	5.12.19	142	-
10.10.19	153	-	-	11.11.19	193	-	9.12.19	173	-
14.10.19	201	-	-	14.11.19	148	-	12.12.19	134	-
17.10.19	153	-	-	18.11.19	193	-	16.12.19	169	-
21.10.19	190	-	-	20.11.19	104	-	19.12.19	125	-
24.10.19	152	-	-	25.11.19	225	-	23.12.19	156	-
28.10.19	184	-	-	28.11.19	150	-	27.12.19	150	-
30.10.19	99	-	-				30.12.19	108	-



*Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2019 (Oznaka: 1.5G)*

Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]
<b>Januar</b>			<b>Februar</b>			<b>Marec</b>			<b>April</b>		
3.1.19	156	-	4.2.19	194	-	4.3.19	199	-	1.4.19	204	-
7.1.19	198	-	7.2.19	164	-	7.3.19	159	-	4.4.19	161	-
10.1.19	159	-	11.2.19	196	-	11.3.19	204	-	8.4.19	207	-
14.1.19	203	-	14.2.19	165	-	14.3.19	163	-	11.4.19	163	-
17.1.19	164	-	18.2.19	188	-	18.3.19	211	-	15.4.19	205	-
21.1.19	214	-	21.2.19	166	-	21.3.18	167	-	18.4.19	158	-
24.1.19	160	-	25.2.19	194	-	25.3.19	201	-	23.4.19	262	-
28.1.19	199	-	28.2.19	159	-	28.3.19	160	-	25.4.19	107	-
31.1.19	167	-							30.4.19	255	-
<b>Maj</b>			<b>Junij</b>			<b>Julij</b>			<b>Avgust</b>		
2.5.19	122	-	3.6.19	203	-	1.7.19	212	-	1.8.19	160	-
6.5.19	189	-	6.6.19	157	-	4.7.19	168	-	5.8.19	218	-
9.5.19	168	-	10.6.19	206	-	8.7.19	210	-	8.8.19	166	-
13.5.19	202	-	13.6.19	159	-	11.7.19	158	-	12.8.19	204	-
16.5.19	158	-	17.6.19	198	-	15.7.19	197	-	16.8.19	219	-
20.5.19	209	-	20.6.19	144	-	18.7.19	172	-	19.8.19	160	-
23.5.19	159	-	24.6.19	217	-	22.7.19	196	-	22.8.19	156	-
27.5.19	218	-	27.6.19	158	-	25.7.19	172	-	26.8.19	204	-
30.5.19	168	-				29.7.19	203	-	29.8.19	160	-
<b>September</b>			<b>Oktober</b>			<b>November</b>			<b>December</b>		
2.9.19	192	-	3.10.19	170	-	4.11.19	267	-	2.12.19	202	-
5.9.19	168	-	7.10.19	197	-	7.11.19	161	-	5.12.19	157	-
9.9.19	210	-	10.10.19	173	-	11.11.19	212	-	9.12.19	203	-
12.9.19	180	-	14.10.19	204	-	14.11.19	162	-	12.12.19	156	-
16.9.19	192	-	17.10.19	165	-	18.11.19	208	-	16.12.19	200	-
19.9.19	159	-	21.10.19	198	-	20.11.19	111	-	19.12.19	153	-
23.9.19	204	-	24.10.19	160	-	25.11.19	238	-	23.12.19	197	-
26.9.19	156	-	28.10.19	195	-	28.11.19	164	-	27.12.19	203	-
30.9.19	201	-	30.10.19	107	-				30.12.19	150	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



**Tabela M6:** Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2019 (Oznaka: 1.7D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,151
februar	0,200
marec	0,107
april	0,096
maj	0,176
junij	0,131
julij	0,101
avgust	0,132
september	0,148
oktober	0,094
november	0,227
december	0,130
<b>skupaj 2019</b>	<b>1,693</b>

**Tabela M7:** Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2019 (Oznaka: 2.1G)

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
15. 01. 2019	10.5	-
06. 02. 2019	9.2	-
07. 03. 2019	10.3	-
03. 04. 2019	10.2	-
08. 05. 2019	10.1	-
06. 06. 2019	9.2	-
18. 07. 2019	10.1	-
08. 08. 2019	10.3	-
05. 09. 2019	10.6	-
08. 10. 2019	10.3	-
07. 11. 2019	9.9	-
05. 12. 2019	9.1	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Dodatne meritve F2, IJS:

Koda vzorca	P19-VR1262-61	PR19-VR1262-91
Datum	13. 06. 2019	09. 09. 2019
Izotop	A [Bq/m <sup>3</sup> ]	
K-40	51,0 ± 2,8	49,0 ± 2,9
Cs-137	-	< 0,35
Ra-226	1,70 ± 0,54	2,70 ± 0,61
Ra-228	0,89 ± 0,33	1,87 ± 0,58
Th-228	0,67 ± 0,20	0,39 ± 0,24
U-238	1,80 ± 1,20	< 4,5

**Tabela M8:** Meritve aktivnosti sedimentov Save 17. 9. 2019 (Oznaka: 2.2G – 2.3G)

masa [g]	363		361	
Izotop	A/m [Bq/kg]			
	nad izpustom		pod izpustom	
K-40	225 ± 17		212 ± 16	
Cs-137	0,96 ± 0,22		2,05 ± 0,23	
Ra-226	22,2 ± 1,9		20,9 ± 1,8	
Ra-228	14,6 ± 1,2		16,9 ± 1,4	



Th-228	16,0 ± 1,3	17,0 ± 1,4
U-238	25,5 ± 7,1	22,7 ± 7,1

*Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja – 17. 9. 2019 na J strani RC ( Oznaka: 2.4G)*

Izotop	A/m [Bq/kg]		A/S [kBq/m <sup>2</sup> ] Depozit 0 – 20 cm
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
K-40	410 ± 32	401 ± 31	-
Cs-137	51,9 ± 4,6	34,8 ± 3,0	7,03 ± 0,44
Pb-210	73,1 ± 19,5	23,4 ± 0,1	-
Ra-226	72,0 ± 6,2	72,7 ± 6,1	-
Ra-228	41,6 ± 3,2	41,6 ± 3,2	-
Th-228	42,3 ± 3,5	43,3 ± 3,2	-
U-238	39,0 ± 10,9	64,3 ± 12,4	-



**Tabela M10:** Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2019 (Oznaka: 2.6D – 2.9D)

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0.064	0.083	0.083	0.079
februar	0.060	0.074	0.081	0.076
marec	0.057	0.071	0.080	0.076
april	0.067	0.084	0.077	0.067
maj	0.067	0.073	0.085	0.081
junij	0.062	0.087	0.088	0.086
julij	0.059	0.080	0.088	0.074
avgust	0.069	0.089	0.087	0.087
september	0.074	0.095	0.088	0.085
oktober	0.070	0.091	0.091	0.089
november	0.078	0.089	0.089	0.098
december	0.065	0.085	0.087	0.084
<b>skupaj 2019</b>	<b>0,792</b>	<b>1,001</b>	<b>1,024</b>	<b>0,982</b>

**Tabela M11:** Meritev depozita – in-situ 17. 9. 2019 na J strani RC (Oznaka: 2.10IS)

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m <sup>2</sup> ]
Be-7	24,2 ± 4,7	0,79 ± 0,15
K-40	276 ± 30	-
Cs-137	28,5 ± 3,4	1,05 ± 0,12
Ra-226	43,2 ± 5,2	-
Ra-228	278,6 ± 3,2	-
Th-228	27,2 ± 2,9	-

**Tabela M12:** Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja – 17. 9. 2019 pred vhomom v vročo celico (Oznaka: 2.12G)

Datum vzorčenja	V [m <sup>3</sup> ]	Aktivnost [Bq]
17. 9. 2019	37	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2019 (Oznaka: 3.1G)

Datum	P <sub>reakt.</sub> [kW]	Na-24 [Bq/kg]	Ar-41 [Bq/kg]	Cr-51 [Bq/kg]	Mn-54 [Bq/kg]	Mn-56 [Bq/kg]	Co-58 [Bq/kg]
07.01.2019	0	0,99 ± 0,25		9,4 ± 2,36	1,42 ± 0,27		1,97 ± 0,31
14.01.2019	0	15,6 ± 1,6	7,38 ± 2,34	14,8 ± 3,7	1,48 ± 0,5		3,45 ± 0,61
21.01.2019	0	3,65 ± 0,77	108 ± 14	8,61 ± 3,73	2,04 ± 0,48		3,01 ± 0,58
28.01.2019	0	66,6 ± 5,5		20,4 ± 4,9	1,81 ± 0,54		7,29 ± 0,93
04.02.2019	0	1,79 ± 0,51		11,1 ± 3,9	2,48 ± 0,54		7,05 ± 0,89
11.02.2019	0	19,2 ± 1,9		18,2 ± 4,2	1,88 ± 0,48		5,11 ± 0,73
18.02.2019	0			12,8 ± 3,8	2,33 ± 0,55		5,59 ± 0,75
25.02.2019	0	50 ± 4,2		22,1 ± 3,8	3,25 ± 0,54		5,09 ± 0,76
04.03.2019	0	14,5 ± 1,5		22,6 ± 4,2	1,98 ± 0,41		4,53 ± 0,67
11.03.2019	0	22,4 ± 2,1		19,7 ± 4,3	2,28 ± 0,53		5,07 ± 0,73
18.03.2019	0			11,7 ± 3,6	2,06 ± 0,44		4,33 ± 0,65
25.03.2019	0	54,3 ± 4,6		21,2 ± 4,2			4,09 ± 0,67
01.04.2019	0				0,75 ± 0,36		1,17 ± 0,39
08.04.2019	0	41,2 ± 3,5		15,7 ± 3,8	2,42 ± 0,6		4,78 ± 0,67
15.04.2019	0				1,8 ± 0,43		4,9 ± 0,68
24.04.2019	0			7,93 ± 2,8			2,82 ± 0,5
29.04.2019	0	8,61 ± 1,01			0,85 ± 0,33		2,03 ± 0,47
06.05.2019	0						3,7 ± 0,59
13.05.2019	0	40,5 ± 3,5		16,4 ± 4	2,41 ± 0,52		4,23 ± 0,72
20.05.2019	0	154 ± 12	6577 ± 503		2,08 ± 0,73	355 ± 28	3,97 ± 1,38
27.05.2019	0	19,4 ± 2		12,8 ± 3,1	2,26 ± 0,49		4,51 ± 0,65
03.06.2019	0	73,3 ± 6		21,2 ± 4,4	1,76 ± 0,54		4,79 ± 0,76
10.06.2019	0	67 ± 5,5		18,3 ± 4,2			4,05 ± 0,67
19.06.2019	0	323 ± 25	17,9 ± 3,9	15 ± 4,9	1,33 ± 0,6		4,66 ± 0,87
26.06.2019	0			10,3 ± 3,1	1,85 ± 0,43		3,81 ± 0,63
01.07.2019	0	62,5 ± 5,1		19,7 ± 4	2,05 ± 0,52		3,66 ± 0,71
08.07.2019	0				1,96 ± 0,41		2,95 ± 0,5
15.07.2019	0	10,6 ± 1,3			1,49 ± 0,47		2,55 ± 0,44
22.07.2019	0	3,54 ± 0,73		10,7 ± 2,8	1,92 ± 0,46		2,36 ± 0,49
29.07.2019	0	38 ± 3,3		10,9 ± 3,1			3,57 ± 0,6
05.08.2019	0	28,1 ± 2,6		15,6 ± 3,6	1,83 ± 0,5		4,63 ± 0,7
12.08.2019	0	353 ± 27	17443 ± 1333			874 ± 67	
19.08.2019	0		238 ± 19	12,2 ± 4,1	2,44 ± 0,56	10,2 ± 1,3	3,95 ± 0,69
26.08.2019	0	20,8 ± 2,7					
02.09.2019	0	8,07 ± 1,12		12,5 ± 3,4			3,4 ± 0,56
09.09.2019*							
16.09.2019	0	116 ± 9		16,5 ± 4,5	3,07 ± 0,6		3,81 ± 0,68
23.09.2019	0	6,88 ± 1,01			1,59 ± 0,45		2,95 ± 0,51
30.09.2019	0	17,5 ± 1,8					1,93 ± 0,42
07.10.2019	0	42,9 ± 3,6		24,5 ± 5,1	1,46 ± 0,51		3,46 ± 0,63
14.10.2019	0						1,53 ± 0,45
21.10.2019	0	7,77 ± 1,1					2,42 ± 0,52
28.10.2019	0	12,6 ± 1,4					2,69 ± 0,57
04.11.2019	0	24,7 ± 2,3	3267 ± 250			173 ± 14	
11.11.2019	0	25,3 ± 2,3	1771 ± 136			84,9 ± 7,1	
18.11.2019	0	15,1 ± 1,6		14,4 ± 0,4	1,38 ± 0,39		4,06 ± 0,85
25.11.2019	0	76,4 ± 6,2		22,1 ± 4,0	1,5 ± 0,47		3,68 ± 0,61
02.12.2019	0	15,2 ± 2	3161 ± 732	6,49 ± 3,26	1,18 ± 0,4		1,55 ± 0,44
09.12.2019	0	57,7 ± 4,8		12,5 ± 4,5	2,44 ± 0,48		4,92 ± 0,75
16.12.2019	0	9,89 ± 1,16	16,8 ± 3,4	8,1 ± 2,53			3,18 ± 0,56
23.12.2019	0	7,32 ± 1,07		12,6 ± 3,7	2,3 ± 0,5		2,66 ± 0,72
30.12.2019*							

Nadaljevanje tabele na naslednji strani



Datum	P <sub>reakt.</sub> [kW]	Co-60 [Bq/kg]	Zn-65 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
07.01.2019	0	1,12 ± 0,27				
14.01.2019	0	0,95 ± 0,39		1,98 ± 0,51		
21.01.2019	0			2,10 ± 0,71		
28.01.2019	0	4,16 ± 0,55		11,1 ± 1,4	4,66 ± 0,82	5,71 ± 1,44
04.02.2019	0	2,93 ± 0,45		2,06 ± 0,55		
11.02.2019	0	2,68 ± 0,43		2,92 ± 0,66	1,81 ± 0,66	
18.02.2019	0	2,46 ± 0,42				
25.02.2019	0	1,58 ± 0,4		6,11 ± 0,88	2,81 ± 0,69	
04.03.2019	0	1,95 ± 0,48	1,42 ± 0,46	4,2 ± 0,99	1,69 ± 0,51	
11.03.2019	0	1,03 ± 0,52		4,84 ± 0,86		
18.03.2019	0					
25.03.2019	0	1,55 ± 0,44		6,65 ± 0,96	3,03 ± 0,71	
01.04.2019	0					
08.04.2019	0	2,12 ± 0,51		6,38 ± 0,96	2,71 ± 0,58	
15.04.2019	0	1,74 ± 0,41				
24.04.2019	0	2,2 ± 0,48				
29.04.2019	0					
06.05.2019	0	1,58 ± 0,37		1,31 ± 0,45		
13.05.2019	0	1,71 ± 0,36		4,61 ± 0,78		
20.05.2019	0			7,46 ± 1,42		
27.05.2019	0			3,62 ± 0,76	1,8 ± 0,52	
03.06.2019	0	2,74 ± 0,49		7,79 ± 1,06	3,2 ± 0,72	4,1 ± 1,44
10.06.2019	0	1,38 ± 0,66			1,8 ± 0,4	
19.06.2019	0	1,3 ± 0,6		19,9 ± 2,4	2,63 ± 0,84	14,9 ± 2,4
26.06.2019	0	1,66 ± 0,38		2,75 ± 0,5		
01.07.2019	0	2,62 ± 0,58				3,54 ± 1,67
08.07.2019	0	2,36 ± 0,43				
15.07.2019	0	2,27 ± 0,46				
22.07.2019	0					
29.07.2019	0					
05.08.2019	0	2,14 ± 0,6			2,19 ± 0,63	
12.08.2019	0			7,09 ± 1,73		
19.08.2019	0	2,07 ± 0,49		1,38 ± 0,38		
26.08.2019	0			4,36 ± 1,29		
02.09.2019	0	1,25 ± 0,36		0,95 ± 0,47		
09.09.2019*						
16.09.2019	0	2,57 ± 0,48		7,65 ± 1,13	1,94 ± 0,7	7,07 ± 2,57
23.09.2019	0	2,39 ± 0,39		0,9 ± 0,45		
30.09.2019	0			2,15 ± 0,61		
07.10.2019	0	2,75 ± 0,48		3,89 ± 0,72	3,69 ± 1,24	
14.10.2019	0	1,28 ± 0,34				
21.10.2019	0	3,49 ± 0,45		1,98 ± 0,6		
28.10.2019	0	2,2 ± 0,5		1,5 ± 0,47		
04.11.2019	0	3,08 ± 0,66				
11.11.2019	0	1,38 ± 0,43				
18.11.2019	0			5,78 ± 0,92		
25.11.2019	0	2,43 ± 0,45		10,9 ± 1,4	2,77 ± 0,66	
02.12.2019	0	1,54 ± 0,39		6,38 ± 2,52		
09.12.2019	0	2,4 ± 0,44		9,41 ± 1,29	1,59 ± 0,57	
16.12.2019	0	1,61 ± 0,37		1,73 ± 0,5	0,7 ± 0,33	
23.12.2019	0	0,92 ± 0,33		5,62 ± 0,9		
30.12.2019*						

\* Vzorec ni bil pobran, ker je bil reaktor zaklenjen.





**Tabela M14:** Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2019 (Oznaka: 3.2G)

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
14.01.2019	-
06.02.2019	-
06.03.2019	-
04.04.2019	-
09.05.2019	-
20.06.2019	-
23.07.2019	-
01.08.2019	-
04.09.2019	-
24.10.2019	-
13.11.2019	-
05.12.2019	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

**Tabela M15:** Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2019 (Oznaka: 3.3G)

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]
09.01.2019	5,0	-
04.02.2019	5,0	-
04.03.2019	5,0	-
03.04.2019	5,0	0,57 ± 0,29
08.05.2019	5,0	-
03.06.2019	5,0	-
15.07.2019	5,0	-
01.08.2019	5,0	-
02.09.2019	5,0	-
02.10.2019	5,0	-
05.11.2019	5,0	-
04.12.2019	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

Aktivnost poročamo v Bq/kg.

#### 5.3.2 Zemlja

Aktivnost poročamo v Bq/kg osušene zemlje ali kot depozit v Bq/m<sup>2</sup> 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 <sup>3</sup>			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 2019 smo sodelovali na dvojih mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2018, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2019.

### NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2018

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Mn-54	18,7 ± 1,5	19,062 ± 0,081	ustreza
Co-60	7,04 ± 0,40	7,399 ± 0,020	ustreza
Zn-65	2,31 ± 0,16	2,353 ± 0,017	ustreza
Ba-133	18,3 ± 1,17	19,70 ± 0,13	ustreza



Vse izmerjene aktivnosti 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 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. Vse izmerjene aktivnosti ustrezajo kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator.

### IAEA-TEL-2019-04 ALMERA proficiency test on determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, shrimp and simulated aerosol filter samples

Vsebnost naravnih in umetnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVSIS	IAEA	
Cs-134	9,16 ± 0,64	9,30 ± 0,30	ustreza
Cs-137	8,37 ± 0,76	8,92 ± 0,25	ustreza
Ra-228	22,33 ± 1,73	22,08 ± 1,00	ustreza
Th-228	3,25 ± 0,50	0,80 ± 0,20	ne ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v drugem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVSIS	IAEA	
Cs-134	3,99 ± 0,33	5,05 ± 0,15	ustreza
Cs-137	3,85 ± 0,42	4,19 ± 0,12	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na prvem filtru

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVSIS	IAEA	
Cs-134	11,00 ± 0,65	10,71 ± 0,32	ustreza
Cs-137	14,16 ± 1,11	13,25 ± 0,40	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na drugem filtru

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVSIS	IAEA	
Cs-134	20,20 ± 1,18	20,28 ± 0,61	ustreza
Cs-137	13,30 ± 1,04	13,02 ± 0,40	ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov na tretjem filtru

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVSIS	IAEA	
Cs-134	6,29 ± 0,38	6,37 ± 0,25	ustreza
Cs-137	26,1 ± 2,0	24,93 ± 0,75	ustreza

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

Referenčne vrednosti naravnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu so bile določene z meritvami alfa/beta. Za radionuklide prisotne v koncentracijah znatno nad mejo detekcije se naši rezultati kljub temu dobro ujemajo z referenčnimi vrednostmi. Za radionuklid, katerega koncentracija je blizu meje detekcije (Th-228), pa se naši in referenčni rezultati ne ujemajo.



### 5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2019 smo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu (Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2019, Ronneburg, Nemčija [12]). Pregled rezultatov meritev hitrosti doze kaže dobro ujemanje znotraj 20 %.

Poleg mednarodnih primerjalnih meritev so bile na reaktorskem centru izvedene tudi primerjalne meritve PRIMER, kjer so rezultati potrdili ustreznost meritev [11].

### 5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur.l. RS 27/18) smo v letu 2019 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščen organizacije (ZVD). Primerjali smo meritev zemlje, vzorčene na reaktorskem centru 17. 9. 2019, globine 0 – 10 cm. Pobrano zemljo smo razdelili na dva vzorca in vsak pripravili svoj del po svojem postopku. Ker ZVD za razliko od IJS ni naredil radonske zapore, se pričakovano rezultata za vsebnost Ra-226 znatno razlikujeta.

Izotop	A [Bq/kg]		A <sub>SVPIŠ</sub> /A <sub>ZVD</sub>	u-test
	SVPIŠ	ZVD		
K-40	410 ± 32	437,6 ± 23,9	0,94	0,68
Cs-137	51,9 ± 4,6	56,3 ± 1,5	0,92	0,91
Pb-210	73,1 ± 19,5	91 ± 7,8	0,80	0,85
Ra-226	72,0 ± 6,2	49 ± 0,9	1,47	3,69
Ra-228	41,6 ± 3,2	45,2 ± 1,3	0,92	1,04
Th-228	42,3 ± 3,5	39,2 ± 1,5	1,08	0,83

Rezultate običajno primerjamo z u-testom. Kriterij sprejemljivosti za  $u = \frac{|A_{SVPIŠ} - A_{ZVD}|}{\sqrt{u_{SVPIŠ}^2 + u_{ZVD}^2}}$  je  $u < 1,96$ , kjer sta  $u_{SVPIŠ}$  in  $u_{ZVD}$  negotovosti meritev. V okviru u-testa se vsi rezultati meritev ujemajo.