

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS



POROČILO ZA LETO 2018

Leto izdaje: 2019 Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar		
Pregledal	mag. Matjaž Stepišnik		
Odobril	prof. dr. Jadran Lenarčič, 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		





Naročnik Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS)

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

Naslov poročila: MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS, POROČILO ZA LETO 2018

Pogodbena številka: -

Odgovorni nosilec naloge: mag. Matjaž Stepišnik

Avtorji poročila: dr. Tinkara Bučar, mag. Matjaž Stepišnik

Izvajalci meritev: Tanja Murn, Thomas Breznik, Tinkara Bučar, Matjaž Stepišnik, Emira Bašić, Eva Kalšek

Štev.del.por. IJS: IJS-DP-12688

Kopije: Arhiv SVPIS
RIC
URSJV
URSVS
Knjižnica IJS

Slika na naslovni strani: 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
URSVJ	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 in meritve za ocenjevanje vpliva reaktorskega centra na okolje, SVPIS-R-DN-31
5. Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama, ELME-DN-17
6. Meritve hitrosti doze z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-04
7. Meritve površinske kontaminacije z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-03
8. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1) (Ur.l. RS št. 76/17)
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 2018
12. Primerjalne meritve površinske kontaminacije 2018/2 IAEA-TEL-2018-03 (Interno poročilo 19/18-N)
13. Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shlein et.al., Williams and Wilkins, 1998



VSEBINA

1	UVOD	6
2	VZORČEVALNE LOKACIJE	7
3	OVREDNOTENJE MERITEV	8
3.1	MERITVE IZPUSTOV.....	8
3.1.1	Tekočinski izpusti	8
3.1.2	Zračni izpusti	8
3.1.3	Zunanje sevanje	9
3.2	MERITVE V OKOLJU.....	10
3.2.1	Voda iz vodnjaka	10
3.2.2	Sedimenti Save	10
3.2.3	Zemlja	10
3.2.4	Zunanje sevanje	11
3.2.5	Vzdrževanje pripravljenosti	13
3.3	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN	15
3.3.1	Primarna voda	15
3.3.2	Sekundarna voda	15
3.3.3	Voda iz bazena za iztrošene gorivne elemente	15
4	OCENA VPLIVOV	16
4.1	ATMOSFERSKI IZPUSTI	16
4.1.1	Ocena učinkovite doze zaradi atmosferskih izpustov	17
4.2	TEKOČINSKI IZPUSTI	19
4.2.1	Ocena učinkovite doze zaradi tekočinskih izpustov	19
5	MERSKI REZULTATI	20
5.1	PROGRAM OBRATOVALNEGA MONITORINGA	20
5.1.1	Program meritev izpustov	20
5.1.2	Program meritev v okolju	21
5.1.3	Program meritev reaktorskih tekočin	21
5.2	PREGLED TABEL.....	22
5.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN	32
5.3.1	Voda	32
5.3.2	Zemlja	32
5.3.3	Zrak	32
5.3.4	Zunanja doza	32
5.4	MERSKE METODE	32
5.4.1	Visokoločljivostna spektrometrija gama	32
5.4.2	Meritve hitrosti doze	32
5.4.3	Termoluminiscenčna dozimetrija	32
5.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO	33
5.6	PRIMERJALNE MERITVE	33
5.6.1	Spektrometrija gama	33
5.6.2	Meritve hitrosti doze	34
5.6.3	Meritve površinske kontaminacije	34
5.7	NEODVISNI NADZOR OBRATOVALNEGA MONITORINGA	35



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 2018 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 1,3 TBq. Na podlagi konzervativnih predpostavk je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja na prebivalca v okolici Reaktorskega centra zaradi atmosferskih izpustov ocenjena na manj kot 1 μ Sv, kar je enako kot v letu 2017.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je nemerljiva, saj v letu 2018 v izpustih nismo izmerili nobenega umetnega radionuklida.

Sevalna izpostavitvev prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega centra je zanemarljiva v primerjavi z neizogibno izpostavitvijo naravnemu sevanju v običajnem okolju (2,4 mSv na leto). Predstavlja približno 1/100 avtorizirane dozne omejitve za prebivalstvo, ki znaša 50 μ Sv na leto.



1 Uvod

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2018 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 μ 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).

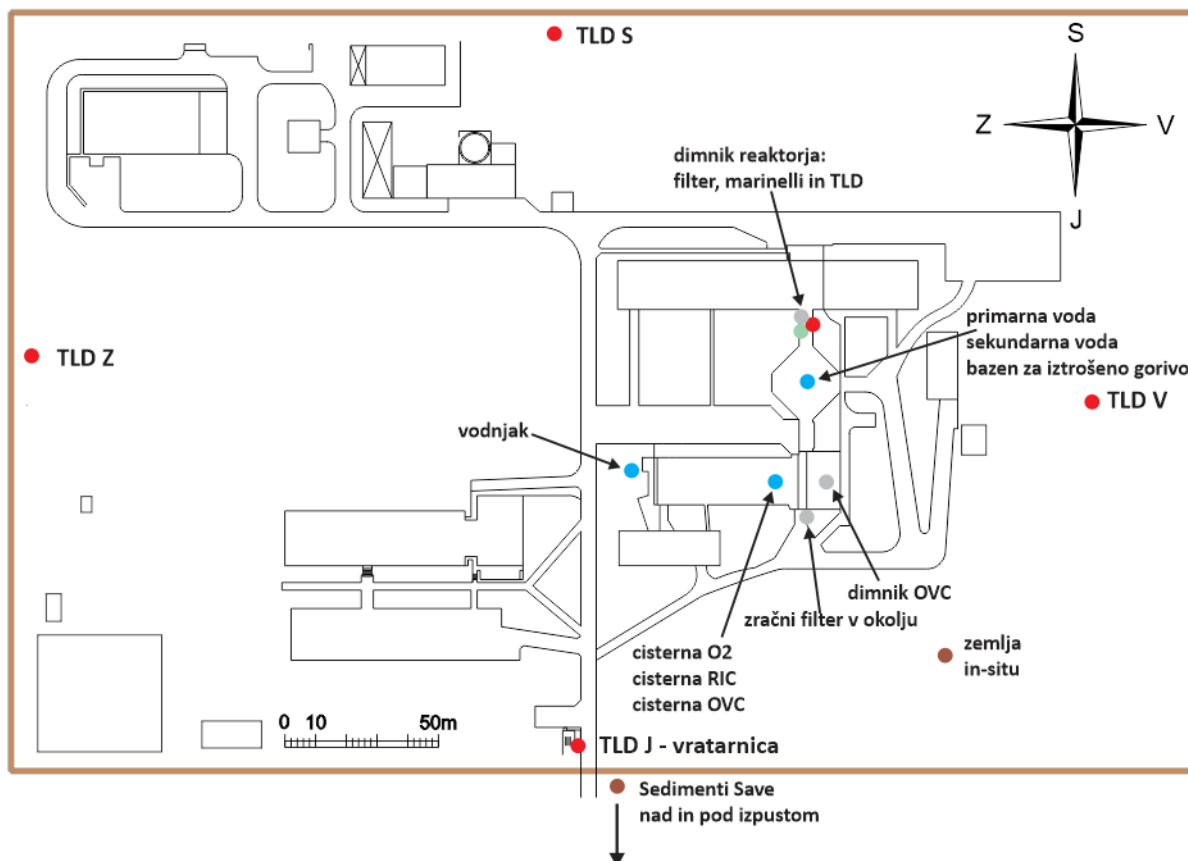
V letu 2018 je na reaktorskem centru potekala raziskovalna dejavnost, ki je vključevala obsevanje vzorcev v reaktorju ter rutinsko delo z radioaktivnimi snovmi in obsevanimi vzorci. Delo ni bistveno odstopalo od dejavnosti iz preteklih let. Reaktor je obratoval 683 ur, kar je dobrih 100 ur več kot v letu 2017.

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 (SVPIŠ-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 odplak v reko Savo.



Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Reaktorskem centru v letu 2018



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 zunanje 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 2018 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 2018 izčrpana šestkrat. 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. Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2018 je bila 150 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila tako kot leto pred tem izmerjena v januarju (163 kBq/m³). Povprečna vrednost je podobna kot v letu 2017 (154 kBq/m³) in višja kot v letih 2016 (136 kBq/m³) in 2015 (112 kBq/m³).

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. V poletnih mesecih je pretok nekoliko višji (~ 5 m³/s), v zimskih mesecih pa je zaradi nevarnosti zmrzovanja grelca ventilacije vklopljena delna recirkulacija, pretok je zato nekoliko nižji (~ 4,5 m³/s) in izmerjene koncentracije v dimniku višje.

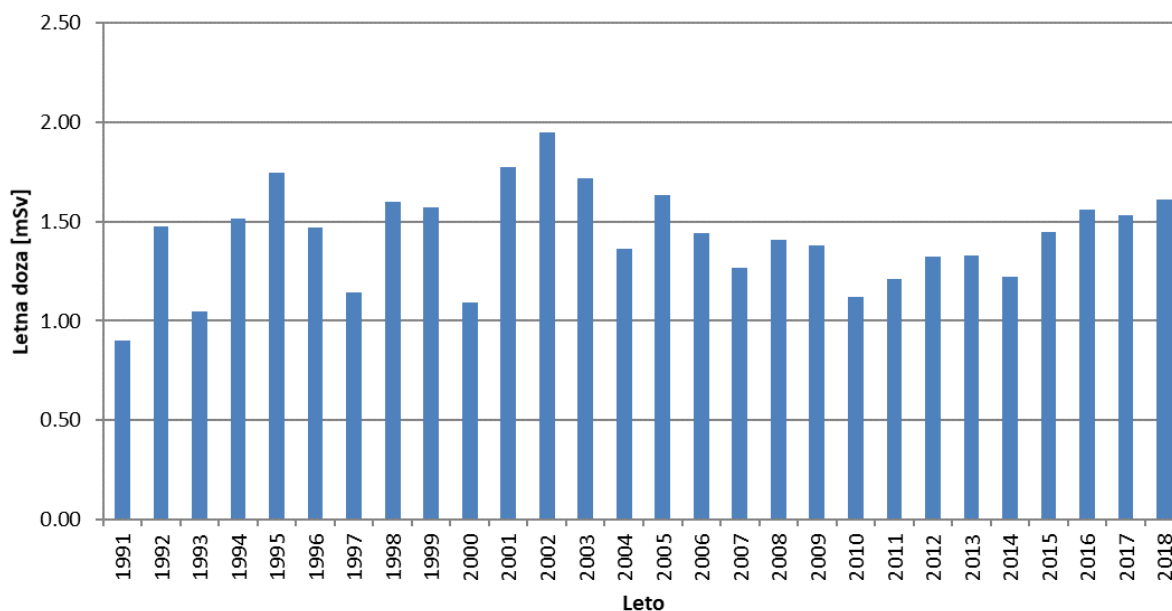


Na filtrih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo kot v preteklih letih tudi v letu 2018 nekajkrat zaznali prisotnost Na-24 zelo nizkih aktivnosti, primerljivih z mejo detekcije. V tem letu nismo zaznali prisotnosti drugih radionuklidov, vendar lahko v prihodnosti še vedno pričakujemo občasno prisotnost npr. Br-82, 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.

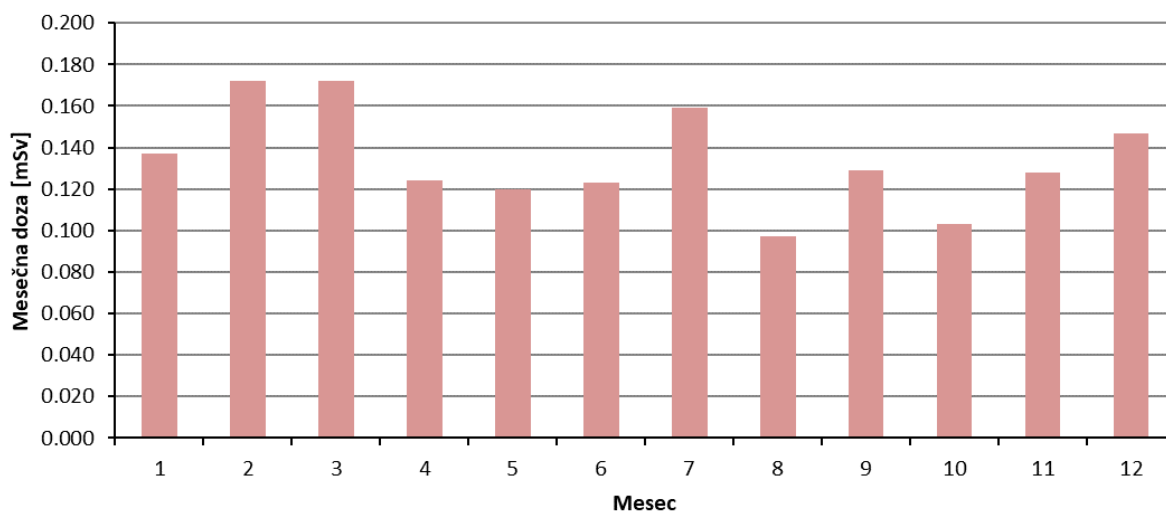
3.1.3 Zunanje sevanje

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 1991-2018 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 2018 je bila skupna letna doza TLD 1,6 mSv, podobno kot v letu 2017, in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2018



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2018 (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 2018 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 večini izmerjenih vzorcih so bile pod detekcijsko mejo. V enem vzorcu je bil v sledovih zaznan Cs-137, ki je v okolju prisoten zaradi globalne kontaminacije.

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 2018 izmerjene koncentracije Cs-137, primerljive z mejo detekcije (1,6 Bq/kg nad in 0,7 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.

3.2.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku pred CSRAO na jugovzhodni 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 54 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

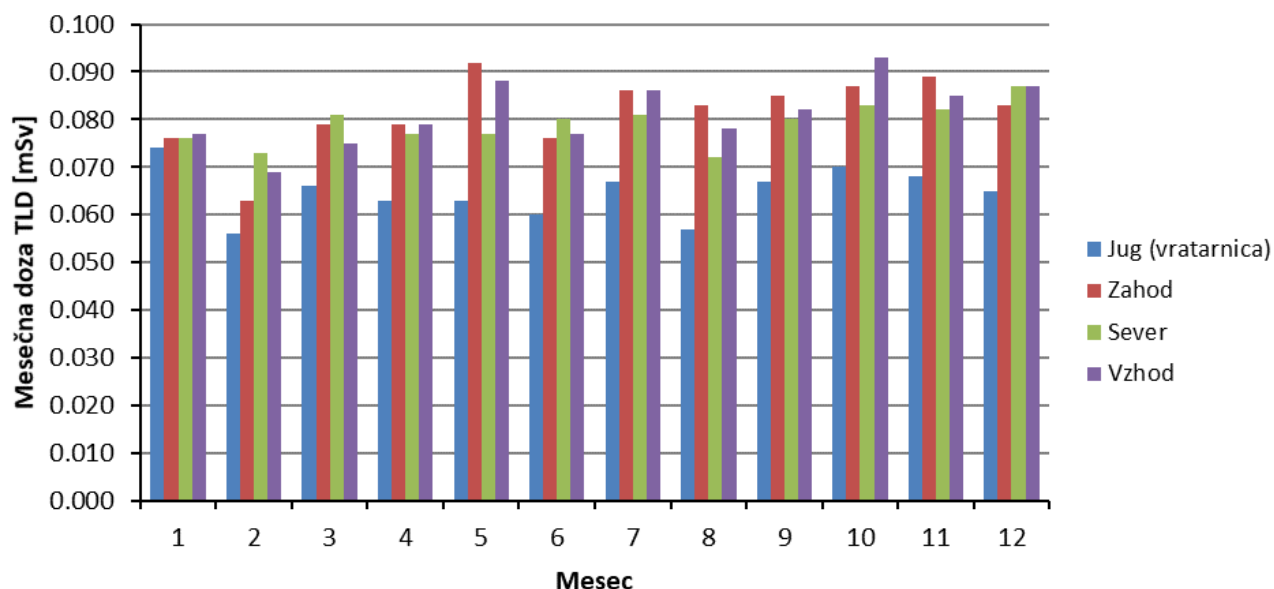
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1).

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

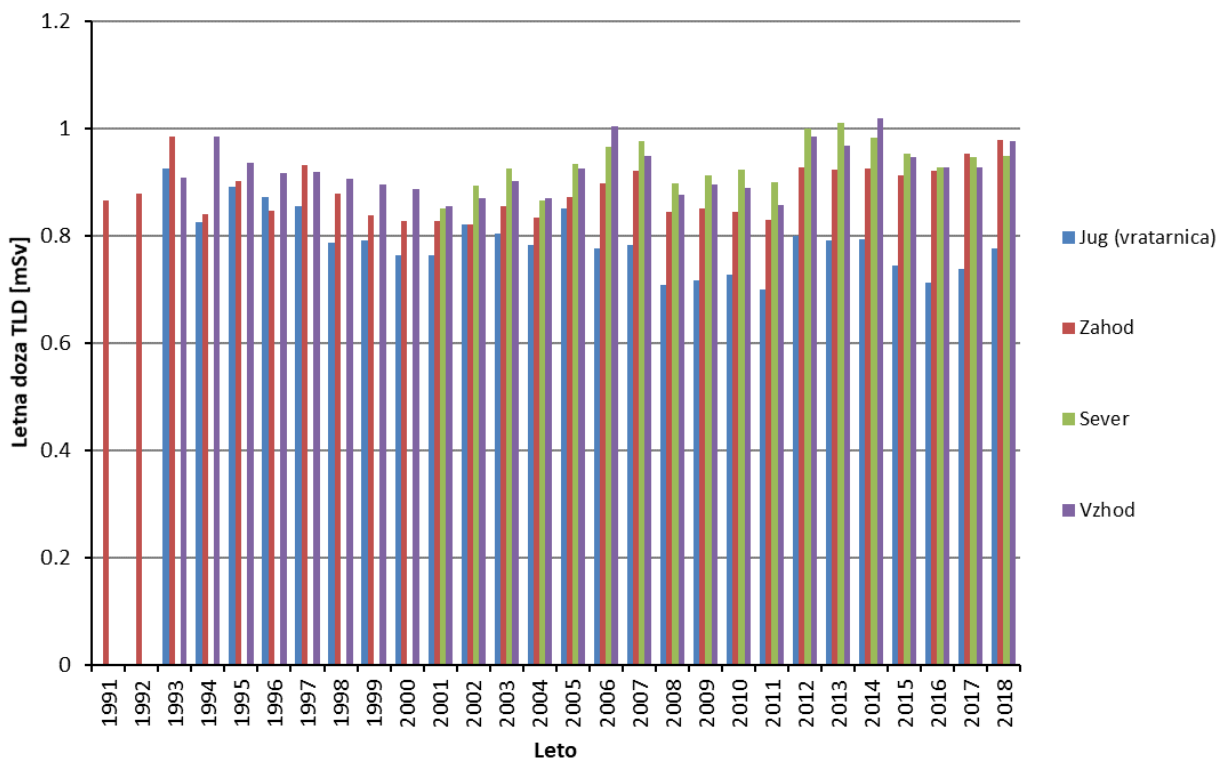
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	Ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

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

Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2018 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 0,9 mSv/leto).



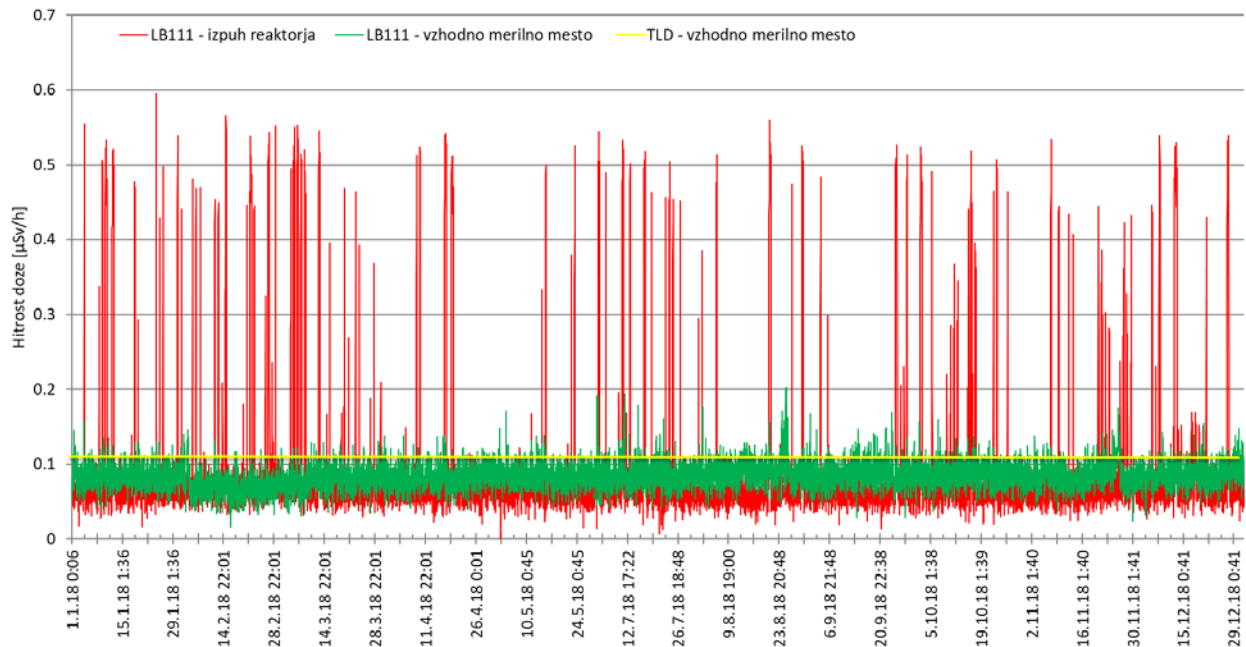
Slika 4: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2018 (Oznaka 2.6D – 2.9D)



Slika 5: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2018

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 zunanjega sevanja (okoli 0,5 $\mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzročata žlahtni plin Ar-41, kar je razvidno tudi iz primerjave mesečnih doz na vzhodni kontrolni točki (tabela M10) s tistimi na izpuhu iz reaktorja (tabela M6).
- Rahla povečanja zunanjega 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 $\mu\text{Sv/h}$. 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 2018 (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 jugovzhodno od reaktorja. Rezultati meritev v tabeli M11 (enakomerna porazdelitev) se s korekcijo na suho snov dobro ujemajo z meritvami zgornje plasti zemlje (tabela M9). Na rednem usposabljanju mobilnega radiološkega laboratorija ELME (PRIMER 2018) smo primerjali rezultate in-situ meritev z ELME F2. Vsi poročani rezultati za enakomerno in površinsko porazdelitev se dobro ujemajo.

Pri meritvah in-situ smo po pričakovanju 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 30 Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve je primerljiva z vrednostjo meritev v letu 2017 22 Bq/kg (lokacija SV).

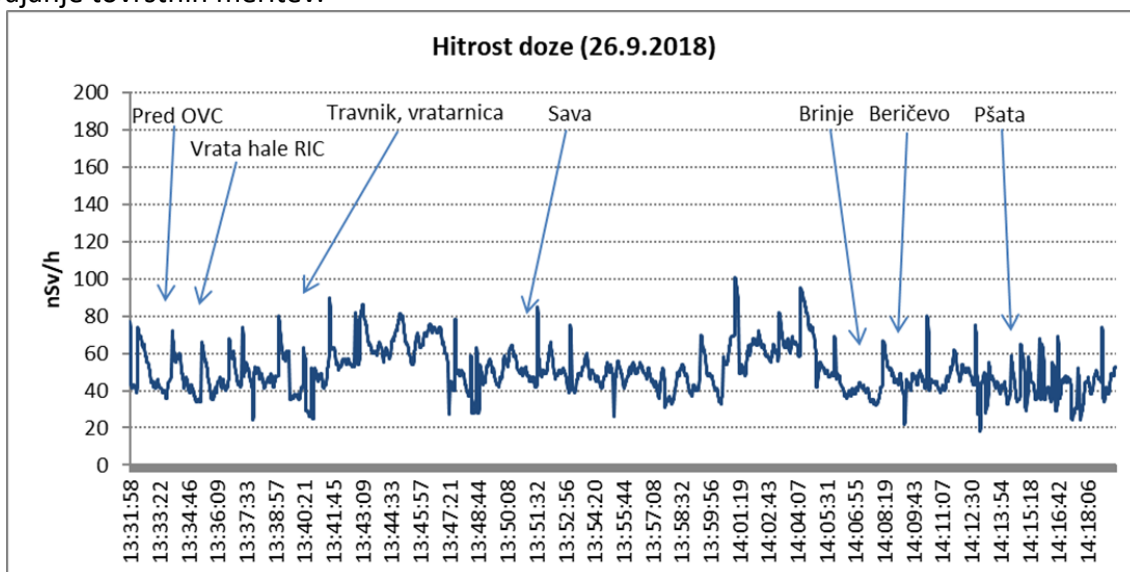
Hitrost doze znotraj ograje Reaktorskega centra (slika 7) in v njegovi okolici smo merili z organskim scintilatorjem večjega volumna, primernim za merjenje naravnega ozadja. Rezultati meritev in njihove lokacije na krožni poti so na slikah 8 in 9. Izmerjene hitrosti doze znotraj ograje Reaktorskega centra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



Slika 7: Meritve hitrosti doze v okviru vaje in primerjalnih meritev med različnimi slovenskimi in hrvaškimi laboratoriji, 26. 9. 2018 (foto: D. Cindro)

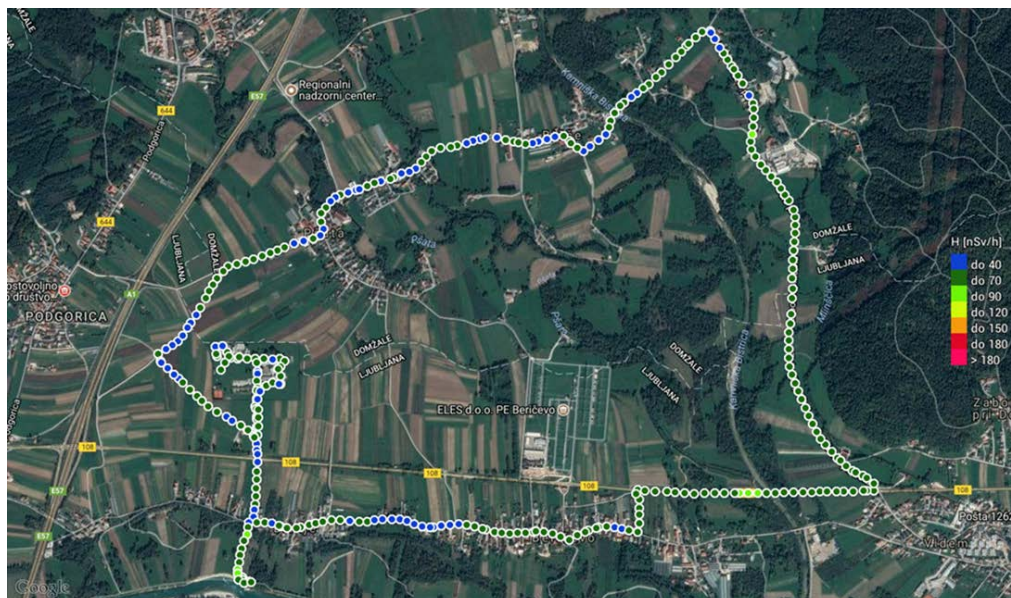
Za potrebe vzdrževanja pripravljenosti smo vzorčili tudi zračne delce s prenosnim vzorčevalnikom pred vhodom v objekt vroče celice. Aerosolni filter smo izmerili v laboratoriju s spektrometrijo gama. Rezultati meritev so v tabeli M12. V vzorcu nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov.

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 8: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (26.9.2018) s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H)

Oznaka: 2.11HD



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (26. 9. 2018)

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 2018 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, Sb-124 in W-187. Njihove koncentracije so za primarno vodo običajne. Višje aktivnosti Ar-41 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 2018 smo v vzorcih vode zaznali prisotnost umetnih radionuklidov Co-60 in Cs-137 v zelo nizkih koncentracijah, čeprav v bazenu od leta 2001 ni več izrabljenih gorivnih elementov. V letu 2018 so bili v bazenu za iztrošene gorivne elemente občasno shranjeni obsevani vzorci, tako je prisotnost omenjenih radionuklidov lahko posledica pretekle kontaminacije ali kontaminacije zaradi shranjenih vzorcev.



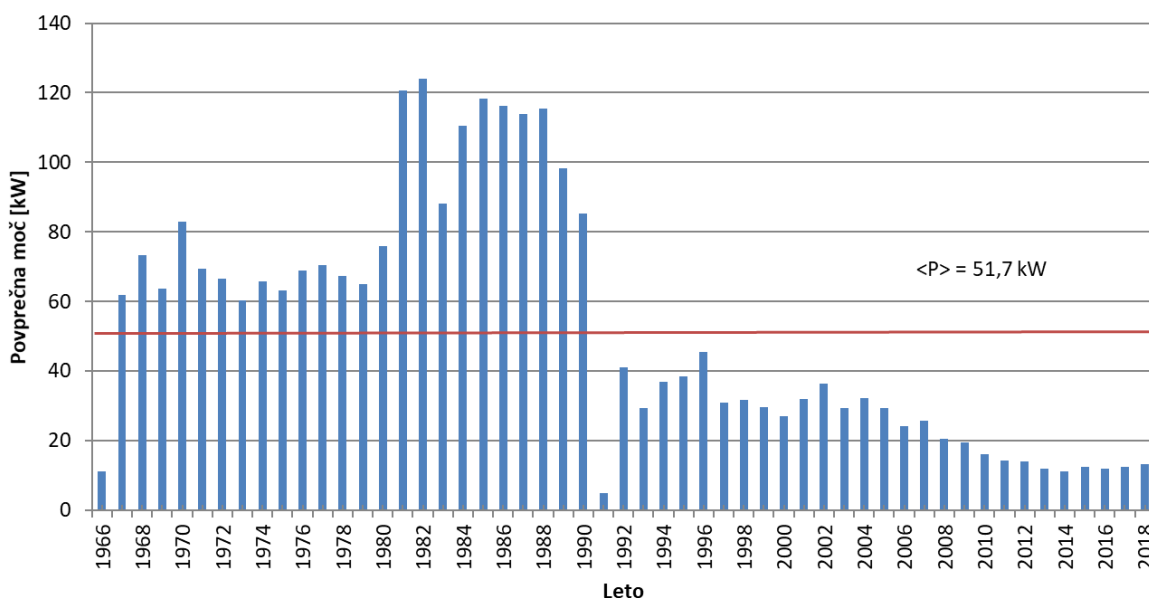
4 Ocena vplivov

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 m³/s. V letu 2018 je bila povprečna izmerjena aktivnost Ar-41 150 kBq/m³ in s tem hitrost izpuščanja 0,75 MBq/s pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2018 je bila 13,2 kW (slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) 40 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 1,3 TBq (1,2 TBq v 2017).



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2018, <P> je povprečje za celotno življenjsko obdobje reaktorja TRIGE

Poleg Ar-41 smo tako kot v preteklih letih v zračnih izpustih občasno zaznali tudi Na-24 (tabela M4), katerega največja izmerjena aktivnost je bila 3 Bq na filter, kar je približno 0,02 Bq/m³. Prisotnosti drugih umetnih radionuklidov nismo zaznali. Inhalacijska doza vseh izmerjenih radionuklidov na prebivalstvo je zanemarljiva v primerjavi z izpostavitvijo Ar-41 in je zato v nadaljevanju poročila nismo podrobneje obravnavali.

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



- Gaussov model za talni izpust ($h = 0$ m),
- disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ za razred stabilnosti ozračja D in E je povzet iz tabele 11.3.5 (stran 11-50), Handbook of Health Physics and Radiological Health, 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 Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira, upoštevan izpust Ar-41 je 40 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]	396	20
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E [m^{-2}]	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	792	40

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: $5,3E-3 \mu Sv \text{ dan}^{-1} / Bq \text{ m}^{-3}$ 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:

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

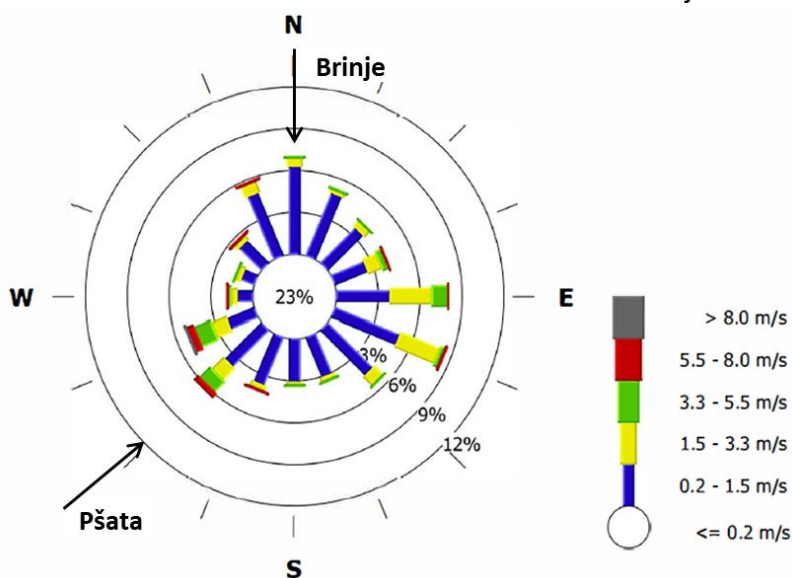
kjer je:



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

Iz rože vetrov za leto 2018 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je veter v letu 2018 najpogosteje pihal v SZZ smeri, kamor je pihal 8,5 % časa s hitrostjo v povprečju 1,3 m/s. Veter je bil v letu 2018 enakomerneje porazdeljen po smereh kot prejšnje leto, ko je 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 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 2018, osrednji del predstavlja brezvetrje (23 %)

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	2,62 E-4	6,12 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,54
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	5,25 E-4	8,75 E-5
	Letna doza [μSv]	0,03	0,77
Povprečje D in E		0,03	0,65

Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je efektivna letna doza 0,03 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza 0,65 μSv . **Ocenjujemo, da je efektivna letna doza, prejeta preko te 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 2018 v cisternah O-2 in RIC nismo zaznali umetnih radionuklidov (tabeli M1 in M2), cisterna OVC je bila tudi v letu 2018 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:

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

kjer je:

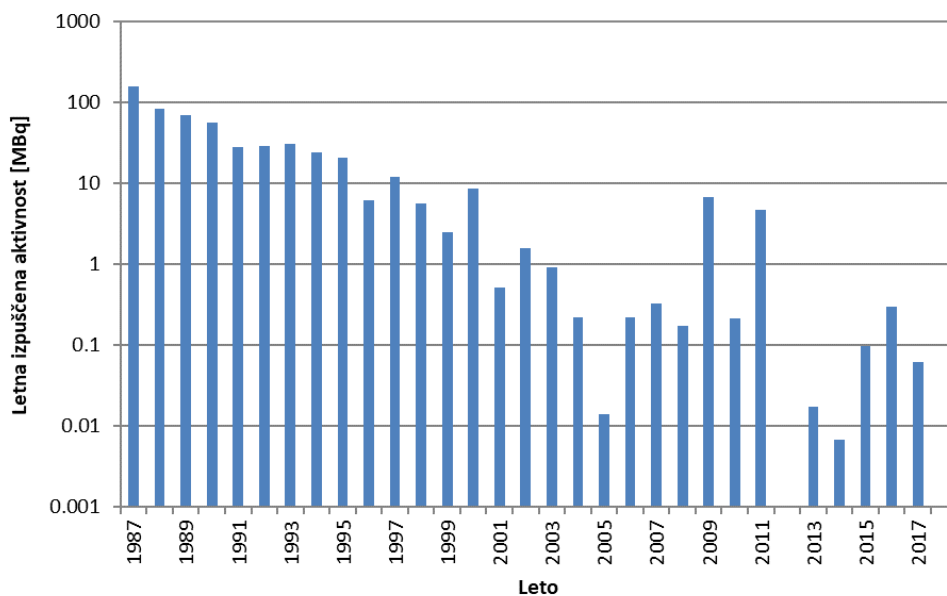
- A_i letna izpuščena aktivnost izotopa i ,
- ϕ povprečni pretok Save (58 m³/s*),
- t_{izp} trajanje izpusta (okrog 2 h),
- V_l količina zaužite vode v enem letu (0,75 m³/leto),
- $DF_{\text{ing},i}$ dozni faktor za ingestijo izotopa i .

* Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov 58 m³/s, čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot 58 m³/s, zato z ohranjanjem nižje številke ostaja ocena konzervativna.

V letu 2018 – prvič po letu 2012 in drugič odkar merimo – v izpustih iz cisterne O-2 (tabela M1, slika 12) nismo zaznali umetnih radionuklidov, tako je letna ingestijska doza 0 nSv (tabela 5) in ni bilo prejete efektivne letne doze preko te prenosne poti.

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 1987-2018



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
ZRAK					
1.3G	izpuh reaktorja – žlahtni plini	plinski	VLG	med obratovanjem (1x mesečno)	1x mesečno
1.4G	izpuh reaktorja – zračni delci	filter	VLG	kontinuirano (menjava 2x tedensko)	2x tedensko
1.5G	vroča celica – zračni delci	filter	VLG	kontinuirano (menjava 2x tedensko)	2x tedensko
ZUNANJE SEVANJE					
1.6HD	izpuh reaktorja	-	hitrost doze	kontinuirano	beleženje v 30 min intervalih
1.7D	izpuh reaktorja	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno


5.1.2 Program meritev v okolju

Oznaka	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Merska metoda	Pogostost vzorčenja	Pogostost meritve
TEKOČINE					
2.1G	vodnjak - podtalnica	Tekočina	VLG	1x mesečno*	1x mesečno
REČNI SEDIMENT					
2.2G	Sava nad izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
2.3G	Sava pod izpustom	Sediment	VLG	1x letno	1x letno
TLA					
2.4G	Znotraj ograje RC	Zemlja 0-10 cm	VLG	1x letno	1x letno
ZUNANJE SEVANJE					
2.5HD	vzhodna kontrolna točka	-	hitrost doze	kontinuirano	beleženje v 30 min intervalih
2.6D	vzhodna kontrolna točka	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.7D	južna kontrolna točka (vratarnica)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.8D	zahodna kontrolna točka (meteorološka postaja)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
2.9D	severna kontrolna točka (ograja)	-	TLD	kontinuirano (menjava 1x mesečno)	1x mesečno
MERITVE KONTAMINACIJE V OKOLJU ZA PRIMER IZREDNEGA DOGODKA					
2.10IS	znotraj ograje RC (na mestu vzorca 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
TEKOČINSKI IZPUSTI					
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 2018
Oznaka: 1.1G

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost [Bq/kg]
03.01.18	5,87	7,0	-	23.07.2018	5,05	7,0	-
15.01.18	7,03	7,0	-	30.07.2018	4,72	7,0	-
22.01.18	4,70	7,0	-	06.08.2018	5,10	7,0	-
29.01.18	4,70	7,0	-	13.08.2018	4,47	7,0	-
05.02.18	4,98	7,0	-	20.08.2018	3,80	7,0	-
12.02.18	3,91	7,0	-	27.08.2018	4,45	7,0	-
19.02.18	3,8	7,0	-	03.09.2018	4,49	7,0	-
28.02.18	5,36	7,0	-	10.09.2018	4,57	7,0	-
12.03.18	6,08	7,0	-	17.09.2018	4,93	7,0	-
19.03.18	4,33	7,0	-	24.09.2018	5,13	7,0	-
24.03.18	5,01	7,0	-	01.10.2018	4,86	7,0	-
03.04.18	5,80	7,0	-	08.10.2018	5,35	7,0	-
12.04.18	5,41	7,0	-	16.10.2018	6,23	7,0	-
23.04.18	6,63	7,0	-	22.10.2018	4,07	7,0	-
07.05.18	7,37	7,0	-	29.10.2018	5,70	7,0	-
14.05.18	4,80	7,0	-	05.11.2018	4,54	7,0	-
21.05.18	5,26	7,0	-	12.11.2018	4,80	7,0	-
28.05.18	4,58	7,0	-	19.11.2018	4,88	7,0	-
04.06.18	4,05	7,0	-	26.11.2018	5,16	7,0	-
11.06.18	5,79	7,0	-	03.12.2018	6,93	7,0	-
18.06.18	5,31	7,0	-	10.12.2018	4,88	7,0	-
26.06.18	5,16	7,0	-	17.12.2018	4,96	7,0	-
02.07.18	4,41	7,0	-	21.12.2018	3,88	7,0	-
09.07.18	4,72	7,0	-	28.12.2018	4,04	7,0	-
16.07.2018	5,50	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 2018
Oznaka: 1.2G

Datum vzorčenja Cisterne RIC	V [m ³]	Aktivnost [Bq/kg]
26. 02. 2018	3,46	-
03. 05. 2018	2,69	-
21. 06. 2018	3,17	-
02. 08. 2018	3,90	-
23. 08. 2018	3,29	-
14. 11. 2018	3,36	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2018 nismo nikoli praznili.



Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2018
Oznaka: 1.3G

Datum vzorčenja	$P_{\text{reaktorja}}$ [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
10. 01. 2018	250	163 ± 11
22. 02. 2018	250	144 ± 10
13. 03. 2018	250	157 ± 11
10. 04. 2018	250	152 ± 10
15. 05. 2018	250	135 ± 9
06. 06. 2018	250	139 ± 10
04. 07. 2018	250	148 ± 10
06. 08. 2018	250	152 ± 10
25. 09. 2018	250	152 ± 10
02. 10. 2018	250	158 ± 11
07. 11. 2018	250	156 ± 11
13. 12. 2018	250	140 ± 10
Povprečje:	250	150



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2018

Oznaka: 1.4G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec		
		Na-24						Na-24
01. 01. 18	245	-	01. 02. 18	158	-	01. 03. 18	173	-
04. 01. 18	183	-	05. 02. 18	222	-	05. 03. 18	181	-
08. 01. 18	205	-	08. 02. 18	174	-	08. 03. 18	145	3,08 ± 0,63
11. 01. 18	186	1,09 ± 0,38	12. 02. 18	204	-	12. 03. 19	226	-
15. 01. 18	230	-	15. 02. 18	170	-	15. 03. 18	174	-
18. 01. 18	182	-	19. 02. 18	180	-	19. 03. 18	230	-
22. 01. 18	239	-	22. 02. 18	174	-	22. 03. 18	176	-
25. 01. 18	161	-	26. 02. 18	261	-	26. 03. 18	230	-
29. 01. 18	230	-				29. 03. 18	165	-
April			Maj			Junij		
					Na-24			
03. 04. 18	274	-	03. 05. 18	183	-	04. 06. 18	279	-
05. 04. 18	122	-	07. 05. 18	254	-	07. 06. 18	201	-
09. 04. 18	235	-	10. 05. 18	131	-	11. 06. 18	277	-
12. 04. 18	182	-	14. 05. 18	265	-	14. 06. 18	204	-
16. 04. 18	229	-	17. 05. 18	216	-	18. 06. 18	285	-
19. 04. 18	217	-	21. 05. 18	276	-	21. 06. 18	197	-
23. 04. 18	268	-	24. 05. 18	206	-	26. 06. 18	349	-
26. 04. 18	200	-	28. 05. 18	281	-	28. 06. 18	135	-
30. 04. 18	254	-	31. 05. 18	201	2,93 ± 0,40			
Julij			Avgust			September		
		Na-24			Na-24			
02. 07. 18	292	-	02. 08. 18	191	-	03. 09. 18	264	-
05. 07. 18	175	-	06. 08. 18	247	-	06. 09. 18	198	-
09. 07. 18	257	-	09. 08. 18	208	-	10. 09. 18	262	-
12. 07. 18	202	-	13. 08. 18	225	-	13. 09. 18	215	-
16. 07. 18	269	-	16. 08. 18	186	-	17. 09. 18	247	-
19. 07. 18	209	-	20. 08. 18	256	-	20. 09. 18	207	-
23. 07. 18	243	-	23. 08. 18	204	0,67 ± 0,22	24. 09. 18	240	-
26. 07. 18	205	0,63 ± 0,27	27. 08. 18	252	-	27. 09. 18	201	-
30. 07. 18	242	-	30. 08. 18	206	-			
Oktober			November			December		
01. 10. 18	233	-	01. 11. 18	195	-	03. 12. 18	200	-
04. 10. 18	202	-	05. 11. 18	214	-	06. 12. 18	161	-
08. 10. 18	215	-	08. 11. 18	173	-	10. 12. 18	215	-
11. 10. 18	187	-	12. 11. 18	222	-	13. 12. 18	157	-
15. 10. 18	202	-	15. 11. 18	192	-	17. 12. 18	215	-
18. 10. 18	176	-	19. 11. 18	231	-	20. 12. 18	139	-
22. 10. 18	195	-	22. 11. 18	182	-	24. 12. 18	191	-
25. 10. 18	190	-	26. 11. 18	220	-	27. 12. 18	164	-
29. 10. 18	224	-	29. 11. 18	176	-	31. 12. 18	157	-



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2018

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		
01. 01. 18	135	-	01. 02. 18	165	-	01. 03. 18	160	-	03. 04. 18	267	-
04. 01. 18	180	-	05. 02. 18	215	-	05. 03. 18	200	-	05. 04. 18	110	-
08. 01. 18	239	-	08. 02. 18	159	-	08. 03. 18	166	-	09. 04. 18	220	-
11. 01. 18	182	-	12. 02. 18	213	-	12. 03. 19	244	-	12. 04. 18	155	-
15. 01. 18	228	-	15. 02. 18	168	-	15. 03. 18	-*	-	16. 04. 18	206	-
18. 01. 18	171	-	19. 02. 18	197	-	19. 03. 18	219	-	19. 04. 18	161	-
22. 01. 18	226	-	22. 02. 18	158	-	22. 03. 18	177	-	23. 04. 18	199	-
25. 01. 18	170	-	26. 02. 18	203	-	26. 03. 18	233	-	26. 04. 18	154	-
29. 01. 18	220	-				29. 03. 18	168	-	30. 04. 18	195	-
Maj			Junij			Julij			Avgust		
03. 05. 18	145	-	04. 06. 18	190	-	02. 07. 18	192	-	02. 08. 18	156	-
07. 05. 18	191	-	07. 06. 18	141	-	05. 07. 18	135	-	06. 08. 18	195	-
10. 05. 18	148	-	11. 06. 18	188	-	09. 07. 18	191	-	09. 08. 18	168	-
14. 05. 18	184	-	14. 06. 18	138	-	12. 07. 18	150	-	13. 08. 18	166	-
17. 05. 18	142	-	18. 06. 18	181	-	16. 07. 18	194	-	16. 08. 18	156	-
21. 05. 18	185	-	21. 06. 18	127	-	19. 07. 18	163	-	20. 08. 18	205	-
24. 05. 18	133	-	26. 06. 18	214	-	23. 07. 18	186	-	23. 08. 18	158	-
28. 05. 18	227	-	28. 06. 18	85	-	26. 07. 18	168	-	27. 08. 18	205	-
31. 05. 18	170	-				30. 07. 18	196	-	30. 08. 18	157	-
September			Oktober			November			December		
03. 09. 18	206	-	01. 10. 18	200	-	01. 11. 18	169	-	03. 12. 18	204	-
06. 09. 18	155	-	04. 10. 18	162	-	05. 11. 18	199	-	06. 12. 18	164	-
10. 09. 18	204	-	08. 10. 18	196	-	08. 11. 18	159	-	10. 12. 18	203	-
13. 09. 18	171	-	11. 10. 18	169	-	12. 11. 18	206	-	13. 12. 18	155	-
17. 09. 18	203	-	15. 10. 18	185	-	15. 11. 18	170	-	17. 12. 18	205	-
20. 09. 18	166	-	18. 10. 18	145	-	19. 11. 18	203	-	20. 12. 18	155	-
24. 09. 18	200	-	22. 10. 18	190	-	22. 11. 18	163	-	24. 12. 18	200	-
27. 09. 18	162	-	25. 10. 18	164	-	26. 11. 18	203	-	27. 12. 18	154	-
			29. 10. 18	195	-	29. 11. 18	156	-	31. 12. 18	190	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

*Zaradi nedelovanja črpalke med 12. 3. in 15. 3. zračni filter ni bil vzorčen.

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2018

Oznaka: 1.7D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,137
februar	0,172
marec	0,172
april	0,124
maj	0,120
junij	0,123
julij	0,159
avgust	0,097
september	0,129
oktober	0,103
november	0,128
december	0,147
skupaj 2018	1,611



Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2018

Oznaka: 2.1G

Datum vzorčenja	Gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
09. 01. 2018	9,3	-
14. 02. 2018	9,5	-
13. 03. 2018	10,0	-
24. 04. 2018	9,5	-
28. 05. 2018	9,8	-
05. 06. 2018	9,8	-
05. 07. 2018	10,2	-
02. 08. 2018	10,3	-
05. 09. 2018	10,0	-
25. 10. 2018	10,5	-
08. 11. 2018	9,2	-
05. 12. 2018	9,9	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Koda vzorca	P18-VR1262-51	
Datum	28. 5. 2018	25. 10. 2018
Izotop	A [Bq/m ³]	
K-40	60,0 ± 6,2	46,0 ± 4,7
Cs-137	0,43 ± 0,13	< 0,23
Ra-226	0,74 ± 0,29	9,00 ± 0,83
Ra-228	0,82 ± 0,42	1,80 ± 0,35
Th-228	< 0,1	0,41 ± 0,17
U-238	4,2 ± 3,2	6 ± 2

Opomba: Meritve F2, IJS

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save (26. 9. 2018)

Oznaka: 2.2G – 2.3G

masa [g]	383	404
Izotop	A/m [Bq/kg]	
	nad izpustom	pod izpustom
K-40	258 ± 19	152 ± 12
Cs-137	1,64 ± 0,31	0,73 ± 0,24
Ra-226	30,0 ± 2,5	20,3 ± 1,7
Ra-228	19,1 ± 1,5	10,6 ± 1,0
Th-228	18,4 ± 1,5	11,0 ± 0,9
U-238	44,7 ± 8,6	14,6 ± 7,1

Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja (26. 9. 2018 na JV strani RC)

Oznaka: 2.4G

masa [g]	267	273	A/S [kBq/m ²] Depozit 0 – 20 cm
Izotop	A/m [Bq/kg]		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
K-40	386 ± 30	399 ± 31	-
Cs-137	53,5 ± 4,7	36,0 ± 3,2	7,19 ± 0,86
Pb-210	83,7 ± 19,5	29,3 ± 17,2	-
Ra-226	49,7 ± 4,3	71,8 ± 6,1	-
Ra-228	41,5 ± 3,2	44,1 ± 3,4	-
Th-228	39,9 ± 3,3	41,2 ± 3,4	-
U-238	50,2 ± 11,9	41,0 ± 10,9	-



Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2018

Oznaka: 2.6D – 2.9D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,074	0,076	0,076	0,077
februar	0,056	0,063	0,073	0,069
marec	0,066	0,079	0,081	0,075
april	0,063	0,079	0,077	0,079
maj	0,063	0,092	0,077	0,088
junij	0,060	0,076	0,080	0,077
julij	0,067	0,086	0,081	0,086
avgust	0,057	0,083	0,072	0,078
september	0,067	0,085	0,080	0,082
oktober	0,070	0,087	0,083	0,093
november	0,068	0,089	0,082	0,085
december	0,065	0,083	0,087	0,087
skupaj 2018	0,776	0,978	0,949	0,976

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ (26. 9. 2018 na SV strani RC)

Oznaka: 2.10IS

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
Be-7	23,9 ± 6,0	0,79 ± 0,20
K-40	253 ± 52	-
Cs-137	29,5 ± 6,2	1,08 ± 0,23
Ra-226	26,1 ± 5,6	-
Ra-228	26,6 ± 5,5	-
Th-228	27,2 ± 5,5	-

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja (26. 9. 2018 pred vhodom v vročo celico)

Oznaka: 2.12G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
26. 9. 2018	54	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2018

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]	Co-58 [Bq/kg]
08. 01. 2018	0	5,45 ± 0,78					
15. 01. 2018	0	110 ± 9		21,7 ± 5,1	2,11 ± 0,67		4,64 ± 0,74
22. 01. 2018	0	8,07 ± 1,09		18,5 ± 4,1	2,55 ± 0,47		3,00 ± 0,59
24. 01. 2018	250	12,8 ± 1,4	3332 ± 255			110 ± 9	
29. 01. 2018	0	38,5 ± 3,3		13,9 ± 3,8	1,77 ± 0,46		2,86 ± 0,58
05. 02. 2018	0	3,68 ± 0,66			3,31 ± 0,55		4,02 ± 0,64
12. 02. 2018	0	10,6 ± 1,2		9,64 ± 3,23	1,75 ± 0,43		2,80 ± 0,54
19. 02. 2018	0	9,21 ± 1,08	96,0 ± 7,8		1,69 ± 0,45	5,51 ± 0,95	2,71 ± 0,55
26. 02. 2018	0	58,1 ± 4,8		16,0 ± 4,0	1,74 ± 0,57		3,50 ± 0,58
05. 03. 2018	0	9,24 ± 1,08		18,2 ± 3,9	1,82 ± 0,49		3,26 ± 0,61
12. 03. 2018	0	71,8 ± 5,8	2,87 ± 0,91	15,7 ± 4,0	1,73 ± 0,54		5,14 ± 0,77
19. 03. 2018	0	10,8 ± 1,3		10,2 ± 3,1	1,77 ± 0,43		3,29 ± 0,53
27. 03. 2018	0	12,1 ± 1,4		16,0 ± 4,2			1,21 ± 0,42
29. 03. 2018	0	85,0 ± 6,8	23,3 ± 2,4	6,84 ± 4,09		5,51 ± 1,05	
03. 04. 2018	0	3,69 ± 0,63		5,18 ± 2,92			
05. 04. 2018	0	8,2 ± 0,89					
09. 04. 2018	0						
16. 04. 2018	0	2,17 ± 0,51		9,17 ± 3,72	1,47 ± 0,38		1,70 ± 0,49
23. 04. 2018	0	39,1 ± 4,7		23,0 ± 4,7	1,71 ± 0,47		4,53 ± 0,68
07. 05. 2018	0						
14. 05. 2018	0	35,3 ± 3,1	4291 ± 328			178 ± 14	
21. 05. 2018	0						
28. 05. 2018	0						
04. 06. 2018	0	51,3 ± 4,3		25,0 ± 4,7	0,91 ± 0,49		3,69 ± 0,69
11. 06. 2018	0	13,9 ± 1,5		13,0 ± 3,9	1,33 ± 0,37		3,00 ± 0,52
18. 06. 2018	0	4,30 ± 0,82		5,42 ± 2,54			
02. 07. 2018	0	34,6 ± 3,0		15,9 ± 3,8	0,79 ± 0,34		2,24 ± 0,52
09. 07. 2018	0	33,4 ± 2,9		13,5 ± 3,6			2,71 ± 0,52
16. 07. 2018	0	48,3 ± 4,1		18,5 ± 4,6	1,88 ± 0,63		3,40 ± 0,57
23. 07. 2018	0	8,68 ± 1,14		9,55 ± 3,27	0,87 ± 0,42		2,59 ± 0,55
30. 07. 2018	0	21,3 ± 2,0		7,20 ± 3,34	1,09 ± 0,39		2,83 ± 0,49
06. 08. 2018	0	2,17 ± 0,66					1,57 ± 0,45
13. 08. 2018	0			5,37 ± 2,82	1,65 ± 0,39		2,39 ± 0,52
20. 08. 2018	0			9,05 ± 3,59	1,73 ± 0,43		1,38 ± 0,41
27. 08. 2018	0	4,52 ± 0,81		15,9 ± 4,0	1,70 ± 0,46		3,73 ± 0,63
03. 09. 2018	0	42,7 ± 3,6		11,0 ± 4,1	1,66 ± 0,57		4,36 ± 0,68
10. 09. 2018	0			12,3 ± 3,3	1,62 ± 0,37		2,71 ± 0,53
17. 09. 2018	0			18,0 ± 4,1	2,32 ± 0,50		4,18 ± 0,61
24. 09. 2018	0						2,03 ± 0,46
01. 10. 2018	0	45,3 ± 3,8		17,3 ± 4,3	1,98 ± 0,55		3,30 ± 0,68
08. 10. 2018	0	27,7 ± 2,5		16,4 ± 3,6			3,24 ± 0,59
15. 10. 2018	0	18,9 ± 1,8		10,3 ± 3,7			3,51 ± 0,55
22. 10. 2018	0	3,87 ± 0,73		6,88 ± 3,20			2,02 ± 0,54
29. 10. 2018	0	14,4 ± 1,5		6,75 ± 3,83	1,55 ± 0,47		2,65 ± 0,51
05. 11. 2018	0						
12. 11. 2018	0	21,6 ± 2,0		6,58 ± 2,32			2,01 ± 0,45
13. 11. 2018	0	75,5 ± 5,9		5,45 ± 1,78	1,17 ± 0,26		2,43 ± 0,39
19. 11. 2018	0						2,05 ± 0,44
26. 11. 2018	0	16,4 ± 1,8		11,3 ± 3,6			3,34 ± 0,53
03. 12. 2018	0	7,15 ± 1,06			1,39 ± 0,40		2,55 ± 0,57
10. 12. 2018	0	58,5 ± 4,8		7,5 ± 3,7	1,94 ± 0,52		3,44 ± 0,64
17. 12. 2018	50	44,6 ± 3,8	2470 ± 191		1,60 ± 0,68	118 ± 11	
28. 12. 2018	0	655 ± 50	37,5 ± 5,7			16,9 ± 3,5	3,43 ± 0,85

Nadaljevanje tabele na naslednji strani



Datum	P _{reakt.} [kW]	Co-60 [Bq/kg]	Zn-65m [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	Sb-124 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
08. 01. 2018	0						
15. 01. 2018	0	2,15 ± 0,62		12,8 ± 1,6	2,84 ± 0,65		7,28 ± 1,72
22. 01. 2018	0	3,24 ± 0,44		3,28 ± 0,64	1,06 ± 0,43		
24. 01. 2018	250						
29. 01. 2018	0	2,18 ± 0,40		3,53 ± 0,70	0,86 ± 0,04		
05. 02. 2018	0	1,82 ± 0,41	4,96 ± 0,83	1,33 ± 0,53			
12. 02. 2018	0	2,00 ± 0,48		2,40 ± 0,53			
19. 02. 2018	0	1,93 ± 0,40		2,82 ± 0,50			
26. 02. 2018	0	1,73 ± 0,58		6,81 ± 0,91	3,39 ± 0,71		5,64 ± 1,35
05. 03. 2018	0	2,56 ± 0,42		5,93 ± 0,81	1,19 ± 0,45		
12. 03. 2018	0			15,1 ± 1,8	1,94 ± 0,57		6,98 ± 1,69
19. 03. 2018	0			6,52 ± 0,94			
27. 03. 2018	0	2,66 ± 0,47		4,29 ± 0,64			
29. 03. 2018	0	1,91 ± 0,66		3,32 ± 0,59			6,99 ± 1,44
03. 04. 2018	0						
05. 04. 2018	0						
09. 04. 2018	0	0,89 ± 0,40					
16. 04. 2018	0			0,89 ± 0,33			
23. 04. 2018	0			21,5 ± 9,0	2,37 ± 0,70		
07. 05. 2018	0	1,06 ± 0,31					
14. 05. 2018	0						
21. 05. 2018	0						
28. 05. 2018	0			1,57 ± 0,50		0,49 ± 0,28	
04. 06. 2018	0				2,46 ± 0,61		3,72 ± 1,18
11. 06. 2018	0	1,32 ± 0,34		6,12 ± 0,89			
18. 06. 2018	0			2,04 ± 0,53			
02. 07. 2018	0			2,80 ± 0,57	1,47 ± 0,48		
09. 07. 2018	0			1,94 ± 0,51	1,91 ± 0,64		
16. 07. 2018	0			2,78 ± 0,63			
23. 07. 2018	0	0,75 ± 0,43		1,54 ± 0,47			
30. 07. 2018	0						
06. 08. 2018	0	0,81 ± 0,43					
13. 08. 2018	0						
20. 08. 2018	0						
27. 08. 2018	0						
03. 09. 2018	0			4,56 ± 0,79	2,52 ± 0,62		
10. 09. 2018	0	1,59 ± 0,49		1,34 ± 0,47			
17. 09. 2018	0	1,98 ± 0,49					
24. 09. 2018	0	1,33 ± 0,32					
01. 10. 2018	0			4,99 ± 0,79	2,28 ± 0,63		
08. 10. 2018	0	1,22 ± 0,43	1,12 ± 0,73	4,92 ± 0,77			
15. 10. 2018	0			2,53 ± 0,47			
22. 10. 2018	0			1,55 ± 0,47			
29. 10. 2018	0	1,26 ± 0,45		2,78 ± 0,65			
05. 11. 2018	0						
12. 11. 2018	0	1,06 ± 0,51		1,20 ± 0,52			2,36 ± 1,19
13. 11. 2018	0	1,37 ± 0,31		1,81 ± 0,42	1,21 ± 0,22		4,81 ± 0,89
19. 11. 2018	0						
26. 11. 2018	0			2,95 ± 0,67			
03. 12. 2018	0			2,55 ± 0,59			
10. 12. 2018	0	1,06 ± 0,47		2,62 ± 0,64	0,88 ± 0,53		
17. 12. 2018	50			12,1 ± 1,6	1,31 ± 0,62		
28. 12. 2018	0	1,29 ± 0,67		12,7 ± 1,7	3,62 ± 1,18		17,6 ± 2,5



Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2018

Oznaka: 3.2G

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
10. 01. 2018	-
15. 02. 2018	-
08. 03. 2018	-
17. 04. 2018	-
15. 05. 2018	-
06. 06. 2018	-
04. 07. 2018	-
06. 08. 2018	-
04. 09. 2018	-
02. 10. 2018	-
07. 11. 2018	-
13. 12. 2018	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2018

Oznaka: 3.3G

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]
09. 01. 2018	5	-	-
12. 02. 2018	5,5	-	-
03. 03. 2018	5,5	-	-
24. 04. 2018	5,5	-	-
10. 05. 2018	5	-	-
04. 06. 2018	5	7,78 ± 0,77	-
02. 07. 2018	5	-	-
01. 08. 2018	5	-	-
03. 09. 2018	5	-	-
01. 10. 2018	5	-	-
08. 11. 2018	5	1,89 ± 0,41	0,55 ± 0,34
03. 12. 2018	5	4,03 ± 0,53	-



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/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 dozimetrov 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 2018 smo sodelovali na dvojih mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIŠ za meritve. Primerjalne meritve NPL imajo uradni datum sicer 2017, vendar so bile v celoti izvedene v letu 2018.

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

NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2017

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIŠ	NPL	
Ba-133	17,6 ± 1,1	18,73 ± 0,54	ustreza
Cs-137	3,95 ± 0,31	3,996 ± 0,056	ustreza
Eu-154	6,01 ± 0,33	6,36 ± 0,10	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 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. Vse izmerjene aktivnosti ustrezajo kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator.

IAEA-TEL-2018-03 World-wide Proficiency Test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, soil sample and surface contamination measurement

Vsebnost umetnih radionuklidov v prvem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Co-60	95,05 ± 5,58	97,6 ± 0,8	ustreza
Ba-133	26,43 ± 1,99	28,6 ± 0,2	ustreza
Cs-134	58,48 ± 3,56	58,2 ± 0,3	ustreza
Cs-137	27,78 ± 2,28	29,0 ± 0,2	ustreza
Am-241	29,15 ± 3,44	29,3 ± 0,2	ustreza
Pb-210	69,66 ± 15,38	95,6 ± 0,9	ne ustreza

Vsebnost umetnih radionuklidov v drugem vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
Mn-54	61,24 ± 4,88	61,3 ± 1,4	ustreza
Co-58	13,83 ± 1,23	15,5 ± 1,2	ustreza
Co-60	18,13 ± 1,12	14,3 ± 0,6	delno ustreza
I-131	237,6 ± 33,0	241 ± 7	ustreza
Cs-134	3046 ± 177	3010 ± 60	ustreza
Cs-137	1986 ± 156	2010 ± 40	ustreza

Večina izmerjenih aktivnosti ustreza kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator. V prvem vzorcu smo izmerili tudi Pb-210, ki je zaradi svoje nizke energije izven obsega naše akreditacije, vendar smo njegovo vrednost podcenili. V dodatnem (tretjem) vzorcu, za katerega smo v naprej vedeli rezultate, so se naše vrednosti za Pb-210 lepo ujemale z referenčnimi vrednostmi.

V drugem vzorcu smo imeli presenetljivo težavo s Co-60. Namerili smo sicer nekoliko višjo vrednost od referenčne, vendar je naša merilna točnost ustrezala kriterijem organizatorja. Po teh kriterijih je bil naš rezultat premalo natančen, zato je končni rezultat le delno ustrezal. Glede na naravo dela negotovost manj kot 10 % zadošča za namen naših meritev.

5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2018 smo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu (Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2018, Ronneburg, Nemčija. Pregled rezultatov meritev hitrosti doze kaže dobro ujemanje znotraj 20 %.

5.6.3 Meritve površinske kontaminacije

V letu 2018 smo v okviru mednarodnih primerjalnih meritev IAEA-TEL-2018-03 merili tudi tri površinsko kontaminirane vzorce; čisti beta/gama vir, čisti alfa vir in mešani vir. Meritve smo izvedli s tremi različnimi merilniki, poročali pa smo jih za en sam merilnik. Rezultati med



merilniki so se v okviru negotovosti med seboj ujemali.

Rezultati meritev za vzorce 5 – 7

Vzorec / vrsta sevalca	SER [s ⁻¹ /cm ²]		Ustreznost
	SVPIŠ	IAEA	
5 / beta	1,263 ± 0,189	1,1 ± 0,5	ustreza
6 / alfa	0,286 ± 0,043	0,3 ± 0,2	ustreza
7 / alfa	0,216 ± 0,032	0,2 ± 0,1	ustreza
7 / beta	0,259 ± 0,379	2 ± 0,9	ustreza

Vsi poročani rezultati ustrezajo kriterijem sprejemljivosti, kot jih je določil organizator.

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur.l. RS 27/18) smo v letu 2018 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščne organizacije (ZVD). Primerjali smo meritev zraka iz dimnika reaktorja. Plinasti vzorec smo vzorčili v Marinelli posodo (2. 10. 2018) in ga zaporedno merili najprej na IJS in nato na ZVD.

Izotop	A [Bq/m ³]		A _{SVPIŠ} /A _{ZVD}	u-test
	SVPIŠ	ZVD		
Ar-41	1,58E+05 ± 1,1E+04	1,75E+05 ± 7,5E+03	0,9	1,3

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.