

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS

POROČILO ZA LETO 2016



Leto izdaje: 2017 Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar mag. Matjaž Stepišnik	6.3.2017	
Pregledal	mag. Matjaž Stepišnik	6.3.2017	
Odobril	prof. dr. Jadran Lenarčič, direktor IJS	8.3.2017	

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	6.3.2017	

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





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 2016

Pogodbena številka: -

Odgovorni nosilec naloge: mag. Matjaž Stepišnik

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

Izvajalci meritev: Emira Bašić, Thomas Breznik, Tinkara Bučar

Štev.del.por. IJS: IJS-DP-12244

Kopije: Arhiv SVPIS
RIC
URSJV
URSVS
Knjižnica IJS

Slika na naslovni strani: Pogled na Reaktorski center z JV strani



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

- Tedenska in mesečna poročila o rezultatih meritev vzorcev v okviru programa nadzornih meritev
- Mesečna poročila o rezultatih okoljske dozimetrije, F2 – IJS
- Program varstva pred ionizirajočim sevanjem v raziskovalnem reaktorju TRIGA MARK II, IJS-DP-11287 (OVIDS-RIC-04/13)
- Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva reaktorskega centra na okolje, SVPIS-R-DN-31
- Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama, ELME-DN-17
- Meritve hitrosti doze z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-04
- Meritve površinske kontaminacije z uporabo prenosnih merilnikov, ELME-DN-03
- Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-UPB2) (Ur.l. RS št. 102/2004), ZVISJV-C (60/11), ZVISJV-D (74/2015)
- Uredba o sevalnih dejavnostih, UV1 (Ur.l. RS, št. 48/2004 in Ur.l. RS, št. 9/2006)
- Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, UV2 (Ur.l. RS, št. 49/2004)
- Interkomparacijske meritve hitrosti doze 2016, Ronneburg, Nemčija (IJS-DP-12168)
- Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama PRIMER 2016 (IJS-DP-12215)
- 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	8
3.2	MERITVE V OKOLJU	9
3.2.1	Voda iz vodnjaka	9
3.2.2	Sedimenti Save.....	10
3.2.3	Zemlja.....	10
3.2.4	Zunanje sevanje	10
3.2.5	Vzdrževanje pripravljenosti	12
3.3	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN	14
3.3.1	Primarna voda.....	14
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 učinkoviten doz zaradi tekočinskih izpustov.....	19
5	MERSKI REZULTATI	21
5.1	PROGRAM NADZORNIH MERITEV SEVANJA V OKOLJU REAKTORSKEGA CENTRA.....	21
5.1.1	Program meritev izpustov	21
5.1.2	Program meritev v okolju	22
5.1.3	Program meritev reaktorskih tekočin.....	22
5.2	PREGLED TABEL.....	23
5.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN	33
5.3.1	Voda	33
5.3.2	Zemlja.....	33
5.3.3	Zrak	33
5.3.4	Zunanja doza.....	33
5.4	MERSKE METODE	33
5.4.1	Visokoločljivostna spektrometrija gama	33
5.4.2	Meritve hitrosti doze.....	33
5.4.3	Termoluminiscenčna dozimetrija.....	33
5.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO.....	34
5.6	PRIMERJALNE MERITVE	34
5.6.1	Spektrometrija gama.....	34
5.6.2	Meritve hitrosti doze.....	35
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 2016 so bili atmosferski izpusti žlahtnega plina Ar-41, ki največ prispeva k izpostavljenosti, ocenjeni na 1,0 TBq. Na podlagi konservativnih 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 podobno kot v letu 2015.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila konservativno ocenjena na manj kot 0,01 μ Sv na leto, enako kot v letu 2015.

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 2016 opravljene po Programu nadzornih meritev sevanja v okolici Reaktorskega centra IJS. Program nadzora je opredeljen v Programu varstva pred ionizirajočim sevanjem v raziskovalnem reaktorju TRIGA MARK II (IJS-DP-11287, april 2013). 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 usklajen s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur.l. RS, št. 97/2009, Priloga 5: Zasnova programa območnega monitoringa raziskovalnega jedrskega reaktorja). Avtorizirana mejna doza za prebivalce iz referenčne skupine iz odločbe Uprave RS za jedrsko varnost št. 318-46/90-1842/ML z dne 3.7.1992 je za Reaktorski center 50 μSv na leto.

Program nadzora 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 sepektrometrija 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).

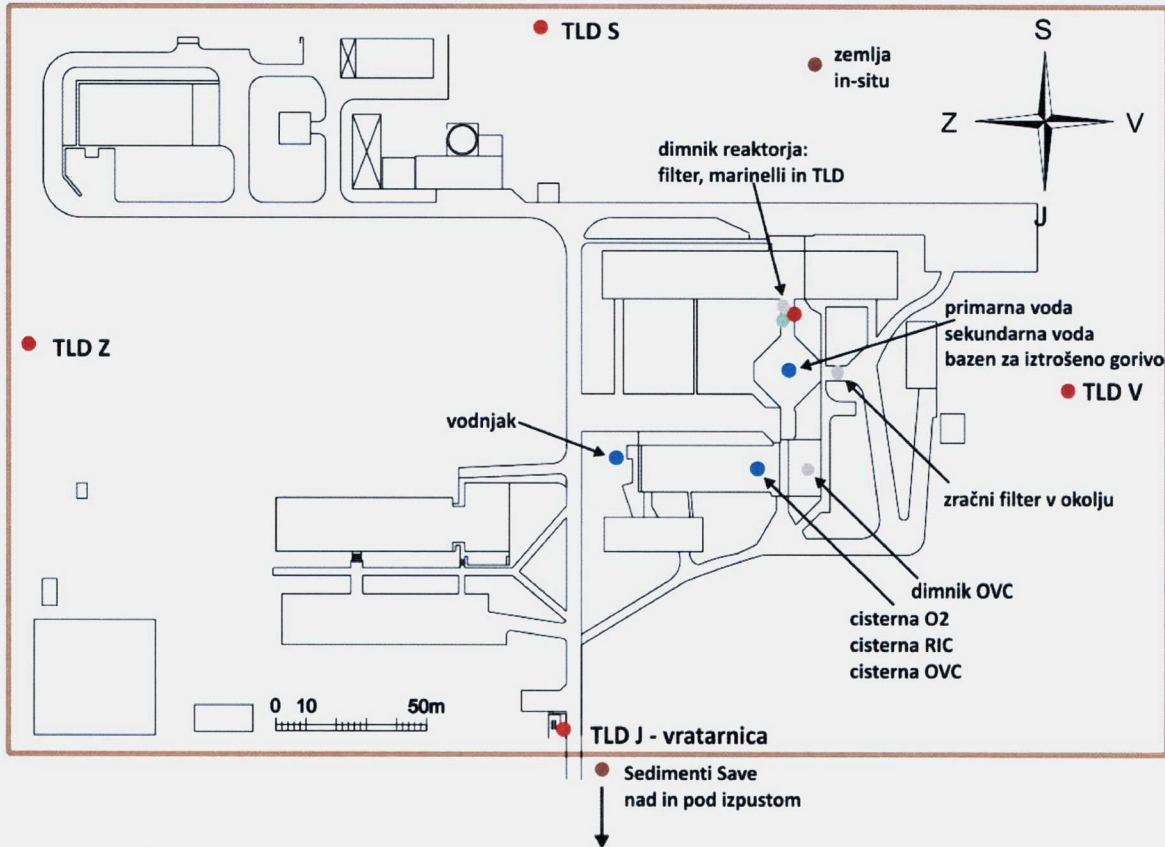
V letu 2016 je na reaktorskem centru potekala raziskovalna dejavnost, ki je vključevala obsevanje vzorcev v reaktorju ter rutinsko delo z radioaktivnimi snovmi in obsevanimi vzorci. Delo ni bistveno odstopalo od dejavnosti iz preteklih let.

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



2 Vzorčevalne lokacije

Vzorčenje poteka skladno s postopkom *Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva Reaktorskega centra na okolje (SVPIS-R-DN-31)*. Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1. Večina vzorčevalnih mest je znotraj ograje Reaktorskega centra, vzorčenje savskega sedimenta pa se izvaja izven ograje Reaktorskega centra na izpustnem kanalu tekočinskih odplak v reko Savo.



Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Reaktorskem centru v letu 2016



3 Ovrednotenje meritev

3.1 Meritve izpustov

Z meritvami izpustov ocenjujemo prispevek dejavnosti na Reaktorskem centru k izpostavitvi prebivalstva sevanju. Program spremljanja emisij temelji na meritvah tekočinskih in atmosferskih izpustov ter zunanega 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 v povprečju enkrat na mesec, zadrževalna cisterna drenaže vročih celic pa 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). Rezultati meritev za leto 2016 so združeni v tabelah M1 in M2. V cisterni O-2 smo zaznali prisotnost Na-24 in Co-60, v cisterni drenaže reaktorja pa Co-57, Co-60, Cs-137, Eu-152 in Eu-154. Vse izmerjene aktivnosti so bile pod dopustnimi koncentracijami za izpust v okolje, povzetimi po UV1, tabela 3. Največja aktivnost je bila izmerjena junija v cisterni O-2 (14,4 Bq/kg Na-24). Cisterna reaktorja je bila v letu 2016 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 od spremembe postavitve eksperimentalne opreme v tangencialnem kanalu 6 v avgustu 2015 ostala skozi celo leto 2016 povišana glede na prejšnja leta, kot je bilo tudi pričakovati. Ob nadaljnjih spremembah eksperimentalne opreme lahko pričakujemo, da se bo aktivnost argona v dimniku ustrezno spreminjala. Povprečna koncentracija aktivnosti argona ob delujočem reaktorju v letu 2016 je bila 136 kBq/m³, največja koncentracija pa je bila izmerjena v decembru 162 kBq/m³. Na filterih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo nekajkrat zaznali prisotnost Na-24 zelo nizkih aktivnosti, primerljivih z mejo detekcije (tabela M4).

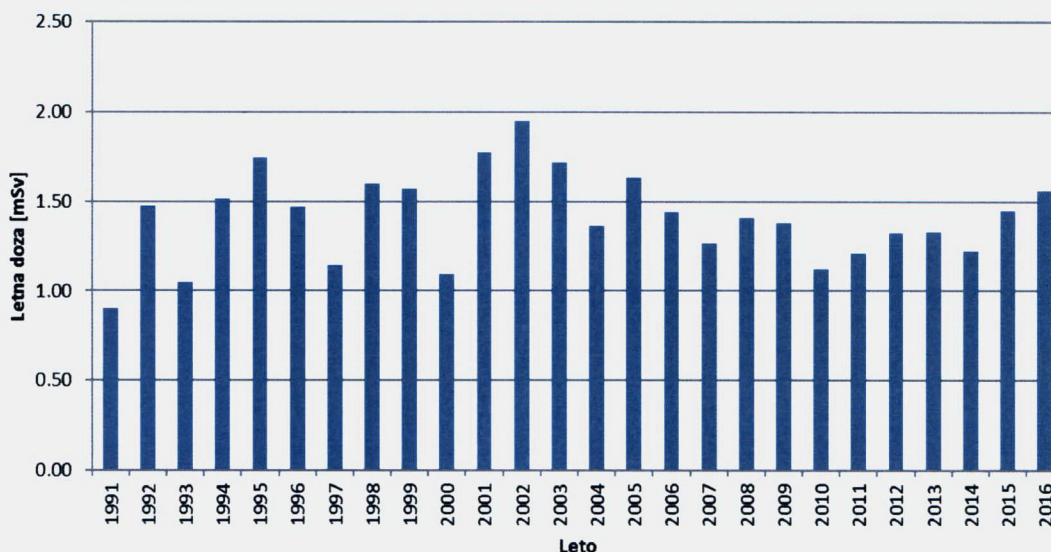
3.1.3 Zunanje sevanje

Na izpuhu 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.

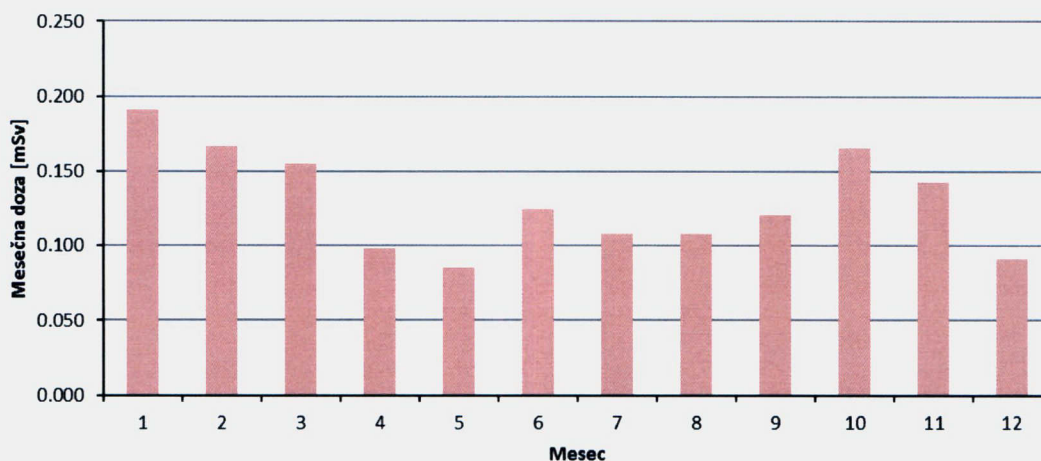
Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi



radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2016 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 2016 je bila skupna letna doza TLD 1,6 mSv in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2016



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2016 (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, pa tudi vplive dogodkov zunaj centra, kot je bila npr. černobilska nesreča. 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. Nadzor 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). Rezultati



meritev so v tabeli M7. V vzorcih nismo zaznali prisotnosti radionuklidov, ki bi lahko bili posledica delovanja reaktorja. Aktivnosti umetnih radionuklidov v vseh izmerjenih vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.

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. 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. V letu 2016 v vzorcu sedimenta z lokacije nad izpustom Cs-137 nismo niti zaznali, v vzorcu sedimenta z lokacije pod izpustom pa smo ga zaznali, a je bila njegova vrednost pod detekcijsko mejo.

3.2.3 Zemlja

Zemljo smo vzorčili na travniku na severovzhodni strani reaktorja (tabela M9). Vzorčenje smo izvedli s pomočjo "corerja" in naredili analizo za dve globini. Vsebnosti naravnih radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost Cs-137 v zgornji plasti (43 ± 4) Bq/kg je primerljiva z običajnimi vrednostmi za zemlje (okoli 50 Bq/kg). 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 ± 9) Bq/kg.

3.2.4 Zunanje sevanje

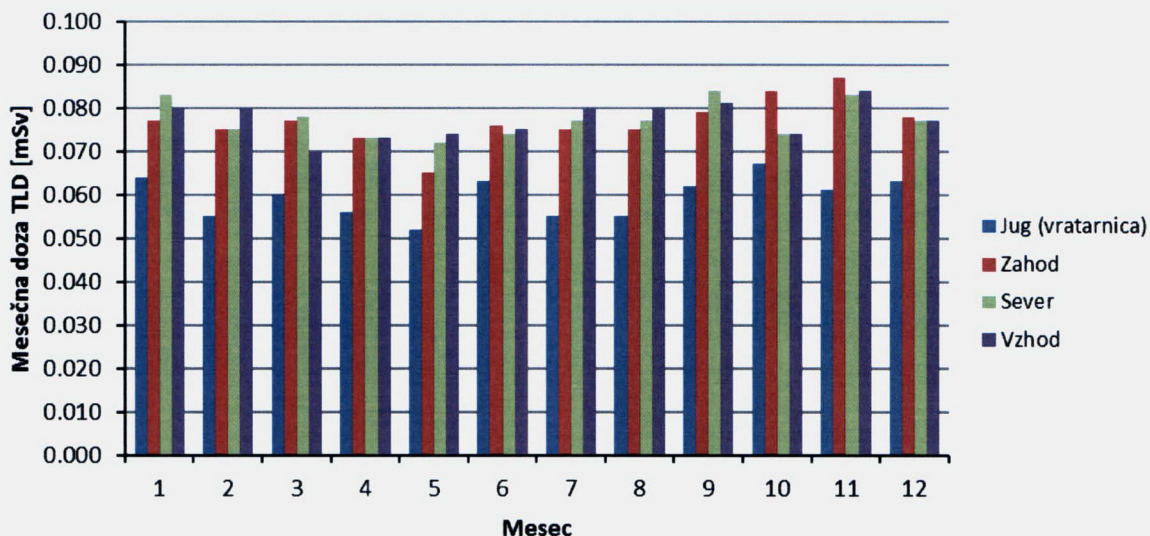
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih mestih znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1 m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih mestih se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1).

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

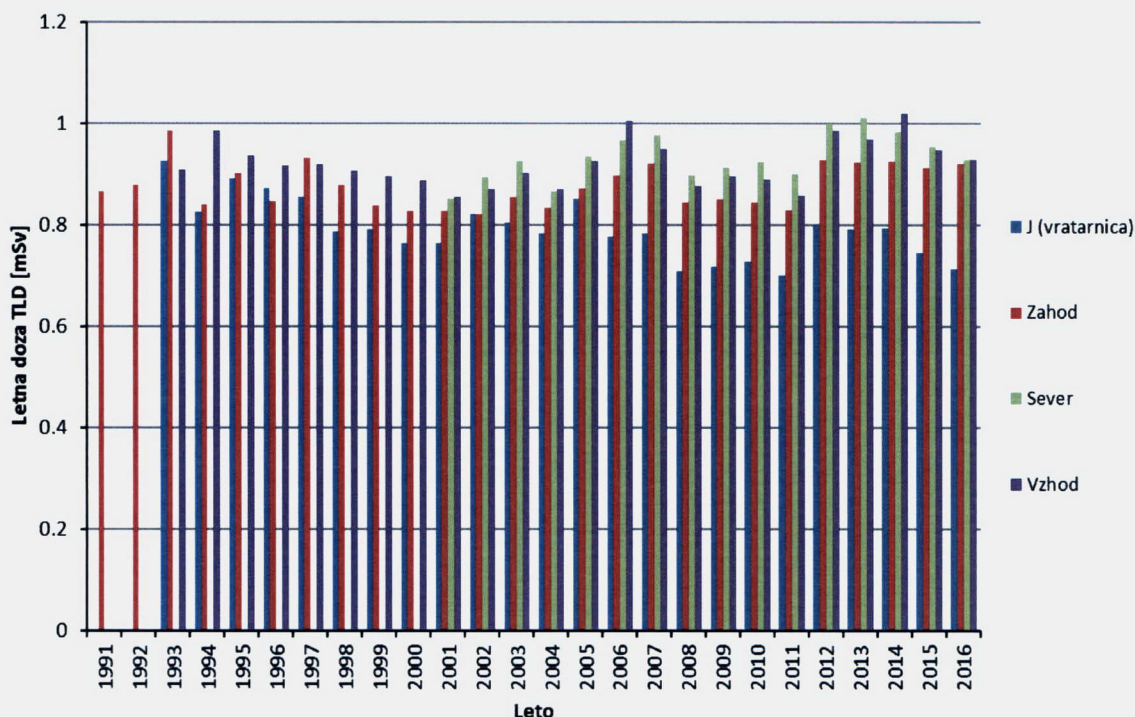
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

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

Mesečne doze TLD na merilnih mestih za leto 2016 so na sliki 4 in v tabeli M10, letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev pa 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 konstantno nekoliko nižje od ostalih dozimetrov, ki so postavljeni nad zemljo. Letne vrednosti so na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,07 mSv/mesec oziroma 0,9 mSv/leto).



Slika 4: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2016 (Oznaka 2.6D – 2.9D)



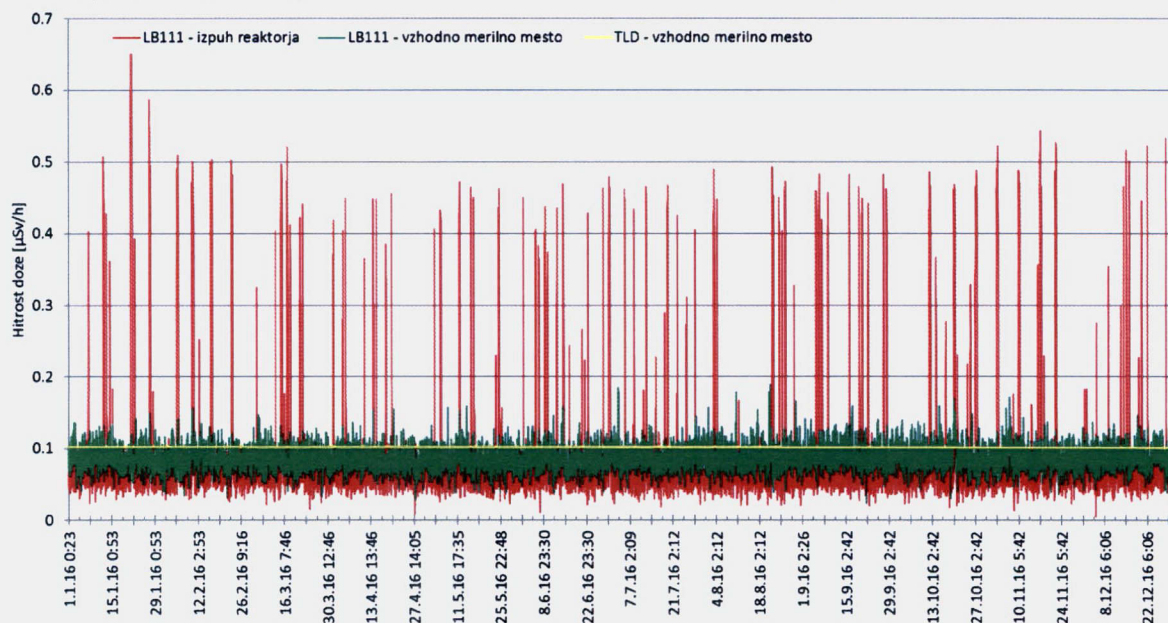
Slika 5: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2016

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 zunanega sevanja (okoli 0,5 $\mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzroča žlahtni plin Ar-41, kar je razvidno tudi iz primerjave letnih doz na vzhodni kontrolni točki (tabela M10) in na izpuhu iz reaktorja (tabela M6).



- Povečanja zunanje sevanja na vzhodni kontrolni točki se pojavljajo ob padavinah, ki iz ozračja izperejo kratkožive radonove potomce. Pojav je naraven in ni povezan z obratovanjem reaktorja.
- S slike 6 je razvidno, da je zunanje sevanje takrat, ko reaktor ne obratuje, na izpuhu reaktorja (okoli 0,05 $\mu\text{Sv/h}$) nižje kot na vzhodnem merilnem mestu (okoli 0,1 $\mu\text{Sv/h}$). Merilnik na travniku je namreč izpostavljen višjemu naravnemu sevanju kot tisti na izpuhu, ki je pred naravnim sevanjem iz zemlje zaščiten z zgradbo.
- V letu 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 2016 (kontinuirni merilnik Berthold LB111 in TLD) (Oznaka: 1.6HD)

3.2.5 Vzdrževanje pripravljenosti

V program vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka spadajo meritve kontaminacije zemlje in zraka v okolju. S terenskimi meritvami ugotavljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj Reaktorskega centra ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju Reaktorskega centra.

Spektrometrijo gama in-situ smo izvedli s prenosnim HPGe spektrometrom na travniku severovzhodno od reaktorja (slika 7). Rezultati meritev so v tabeli M11 in smo jih na rednem usposabljanju mobilnega radiološkega laboratorija ELME (PRIMER 2016, IJS-DP-12215: Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama 2016) primerjali z meritvami ELME. Vsi rezultati poročanih radionuklidov se dobro ujemajo, kar potrjuje njihovo zanesljivost.



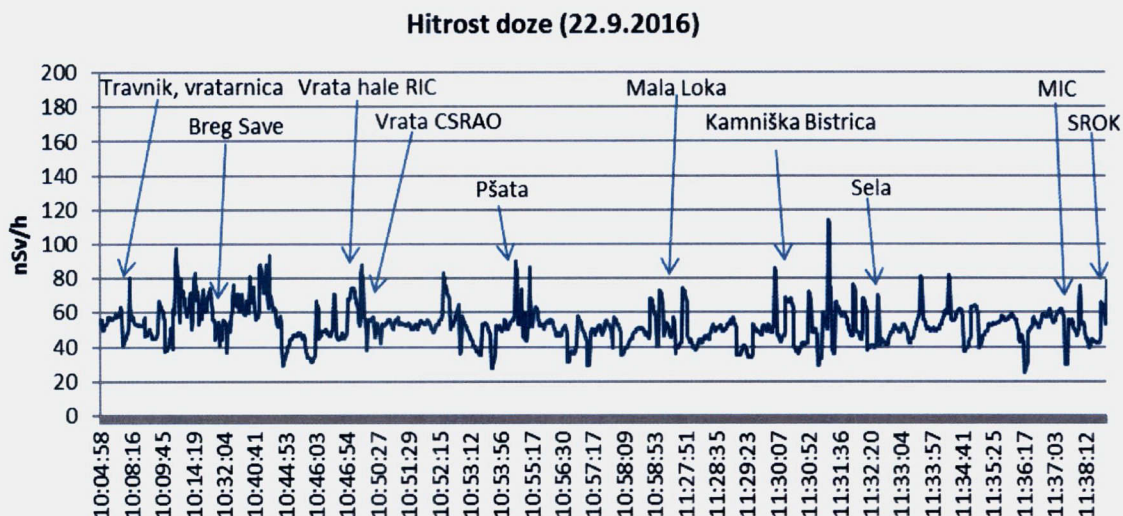
Slika 7: Spektrometrija gama in-situ in vzorčenje zemlje na severovzhodni strani reaktorja v okviru vaje in primerjalnih meritev med različnimi slovenskimi in hrvaškimi laboratoriji, 21.9.2016

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 (24 ± 3) Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve je primerljiva z vrednostjo meritev v letu 2015 (31 ± 4) Bq/kg. Glede na to, da nismo merili na istem delu reaktorskega centra, bi bilo odstopanje lahko tudi bistveno večje. Rezultati in-situ meritev (tabela M11) se dobro ujemajo tudi z rezultati meritev vzorcev zemlje (tabela M9) na isti lokaciji ob upoštevanju, da je bil delež vode v zemlji 28 %.

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

Za potrebe vzdrževanja pripravljenosti smo vzorčili tudi zračne delce s prenosnim vzorčevalnikom pred transportnimi vhodom v reaktorsko halo. 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.



Slika 8: Meritve hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (22.9.2016 s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H)

Oznaka: 2.11HD



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici Reaktorskega centra (22.9.2016)

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 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 fizijskih 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, zato 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 vzorcih vode smo letos, kot tudi že v preteklih letih, zaznali prisotnost umetnega radionuklida Co-60 v nizkih koncentracijah, čeprav v bazenu od leta 2001 ni več izrabljenih gorivnih elementov. Prisotnost omenjenega radionuklida je posledica pretekle kontaminacije.



4 Ocena vplivov

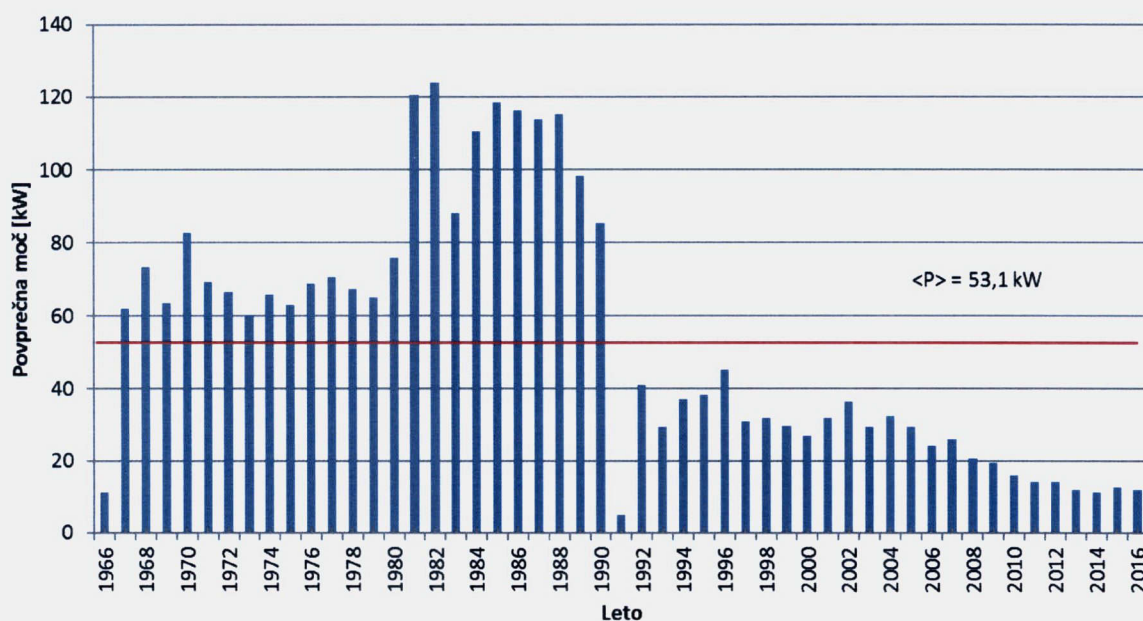
Neposredne meritve v okolju ne kažejo na zaznaven radiološki vpliv Rektorskega centra. Zaradi tega je možna le posredna ocena izpostavitve prebivalstva na podlagi emisijskih meritev in modelov. K izpostavitvi prispevata le zunanja izpostavitve zaradi atmosferskih izpustov Ar-41 (imerzija) in izpostavitve zaradi tekočinskih izpustov iz zadrževalnih cistern v savsko vodo (ingestija). Metodologija ocene doz je opisana v Programu varstva pred ionizirajočim sevanjem v raziskovalnem reaktorju TRIGA MARK II (IJS-DP-11287).

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 v aprilu in maju leta 2010 dalje ocenjujemo povprečni pretok zraka v dimniku na $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri polni moči reaktorja je bila do leta 2015 zgornja ocena za aktivnost Ar-41 $100 \text{ kBq}/\text{m}^3$, kar pri danem pretoku pomeni hitrost izpuščanja Ar-41 $0,5 \text{ MBq}/\text{s}$. Od obnove tangencialnega kanala v letu 2015 dalje se je povišala tudi aktivnost Ar-41 v ventilacijskem sistemu. V letu 2016 je bila povprečna izmerjena aktivnost $138 \text{ kBq}/\text{m}^3$ in s tem hitrost izpuščanja $0,69 \text{ MBq}/\text{s}$ pri obratovanju reaktorja na polni moči. Povprečna moč reaktorja za leto 2016 je bila 12 kW (slika 10) in ocenjena povprečna letna hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) $33 \text{ kBq}/\text{s}$ ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 $1,0 \text{ TBq}$.

Poleg Ar-41 smo v zračnih izpustih občasno zaznali tudi Na-24 v koncentracijah na meji detekcije. Največja izmerjena aktivnost je bila $4,2 \text{ Bq}$ na filter ($0,02 \text{ Bq}/\text{m}^3$). Vpliv Na-24 na okolje je zanemarljiv.



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2016

Koncentracijo argona v zraku v okolju smo ocenili z Gausovim modelom. Ob tem smo



upoštevali sledeče predpostavke:

- Gaussov model za talni izpust ($h = 0$ m),
- disperzijski faktor $v \cdot \chi / Q$ za razred stabilnosti ozračja D in E je povzet iz tabele 11.3.5 (stran 11-50), Handbook of Health Physics and Radiological Health, Third edition, Bernard Shleien et.al., Williams and Wilkins, 1998,
- povprečna hitrost vetra je 1 m/s.

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

Tabela 2: Parametri Gaussovega modela za različne oddaljenosti od vira. Upoštevali smo izpust 33 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]	330	17
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E (m^{-2})	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	660	33

4.1.1 Ocena efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov

Pri oceni efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov smo ocenili le zunanjo dozo, saj Ar-41 kot žlahtni plin ni nevaren pri inhalaciji. Uporabili sledeče vhodne parametre in predpostavke:

- dozni pretvorbni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41: $5,3E-3 \mu Sv \text{ dan}^{-1} / Bq \text{ m}^{-3}$ povzet iz UV2, tabela 6,
- 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 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:

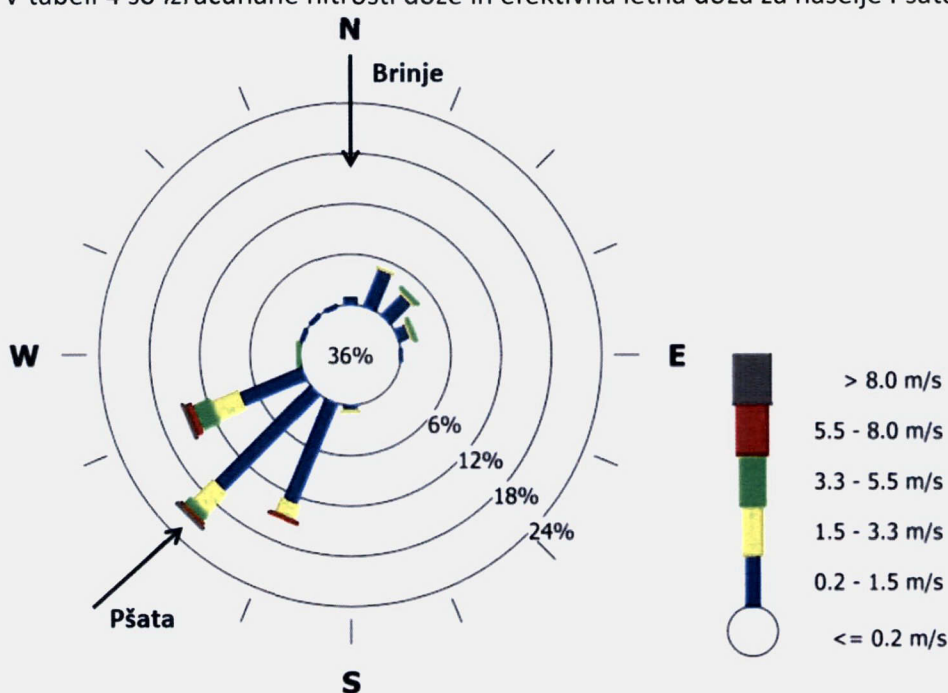
χ koncentracija Ar-41 v zraku,



- $D_{im}(Ar)$ 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 2016 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, je razvidno, da je bila v letu 2016 dominantna smer vetra proti najbližjemu naselju Pšata, kamor je veter pihal 21,2 % časa, in da je bila hitrost vetra v povprečju 1,1 m/s. 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 2016, osrednji del predstavlja brezvetrje (36%)

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	2,18 E-4	5,08 E-5
	Letna doza [μSv]	0,01	0,45
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	4,36 E-4	7,26 E-5
	Letna doza [μSv]	0,03	0,64
Povprečje D in E		0,02	0,54

Ob predpostavki, da se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je efektivna letna doza 0,02 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju efektivna letna doza 0,54 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 μ 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 2016 smo v cisterni O-2 zaznali Na-24 in Co-60 (tabela M1), v cisterni RIC Co-57, Co-60, Cs-137, Eu-152 in Eu-154 (tabela M2), cisterna OVC pa je bila tudi v letu 2016 suha. V tabeli 5 so podane skupne letne izpuščene aktivnosti iz obeh cistern. Največ sta prispevala Na-24 in Co-60.

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 konservativna, saj predpostavlja, da človek celo leto pije savsko vodo.

Letno efektivno dozo za ingestijo izračunamo iz enačbe:

$$E_{\text{ing}} = \sum_i \frac{A_i}{\phi \cdot t_{\text{izp}}} V_1 \cdot DF_{\text{ing},i}$$

kjer je:

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

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

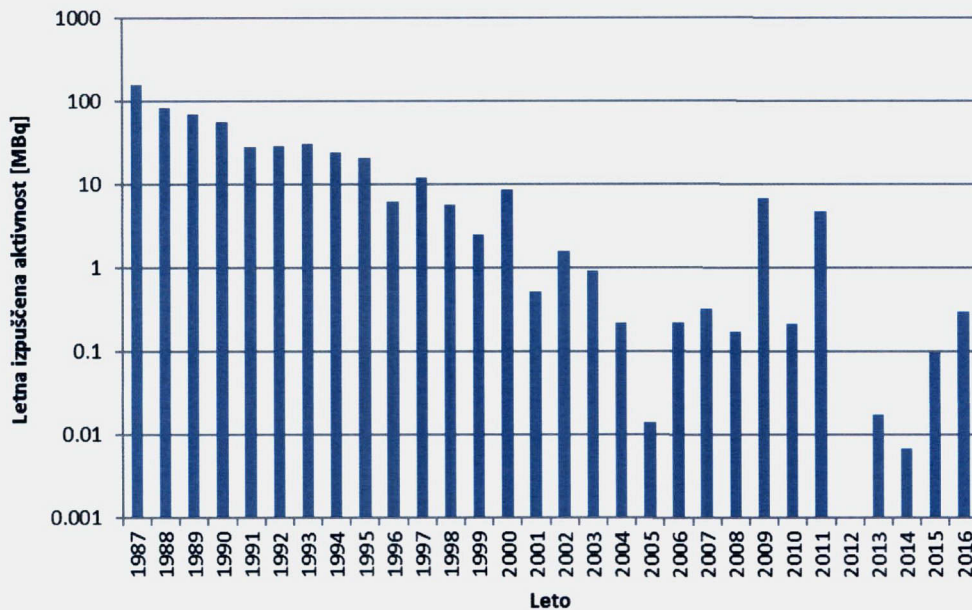
V letu 2016 smo nekajkrat zaznali umetne radionuklide v izpustih iz cisterne O-2 in iz cisterne RIC (tabela M1 in M2, slika 12). V tabeli 5 je ocenjena letna ingestijska doza.

Tabela 5: Ocenjena letna doza zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	D_{ing} [Sv/Bq]*	E [nSv]
Na-24	1,32E+05	4,30E-10	1,02E-01
Co-57	4,19E+03	2,10E-10	1,58E-03
Co-60	1,03E+05	3,40E-09	6,26E-01
Cs-137	1,76E+04	1,30E-08	4,10E-01
Eu-152	2,74E+04	1,40E-09	6,88E-02
Eu-154	9,64E+03	2,00E-09	3,46E-02
Skupaj	2,94E+05	-	1,24E+00

* Ingestijske faktorje smo povzeli po UV2, tabela 3a

Efektivna letna ingestijska doza je ocenjena na manj kot 0,01 μ Sv. **Ocenjujemo, da je tudi efektivna letna doza preko te prenosne poti zanemarljiva.**



Slika 12: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2016



5 MERSKI REZULTATI

5.1 Program nadzornih meritev sevanja v okolju Reaktorskega centra

Program nadzora je opredeljen v Programu varstva pred ionizirajočim sevanjem v raziskovalnem reaktorju TRIGA MARK II (IJS-DP-11287, april 2013). 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 usklajen s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur.l. RS, št. 97/2009, Priloga 5: Zasnova programa območnega monitoringa raziskovalnega jedrskega 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	vročna 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

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 2016

Oznaka: 1.1G

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost Na-24 [Bq/kg]	Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost Na-24 [Bq/kg]	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]
04.01.2016	5,00	7,0	-	04.07.2016	4,90	7,0	3,55 ± 0,61	-
11.01.2016	4,85	7,0	-	08.07.2016	6,03	7,0	-	-
18.01.2016	5,96	7,0	-	18.07.2016	10,1	7,0	-	-
25.01.2016	4,76	7,0	-	25.07.2016	6,70	7,0	-	-
01.02.2016	5,79	7,0	-	01.08.2016	7,48	7,0	-	-
09.02.2016	6,61	7,0	-	08.08.2016	5,89	7,0	-	-
15.02.2016	4,34	7,0	-	16.08.2016	6,15	7,0	-	-
22.02.2016	5,85	7,0	-	22.08.2016	3,96	7,0	-	-
29.02.2016	6,08	7,0	-	29.08.2016	4,70	7,0	-	4,49 ± 0,53
07.03.2016	5,89	7,0	-	02.09.2016	3,93	7,0	-	-
14.03.2016	6,13	7,0	-	12.09.2016	6,56	7,0	-	-
21.03.2016	5,91	7,0	-	16.09.2016	4,26	7,0	-	0,89 ± 0,36
29.03.2016	7,12	7,0	-	26.09.2016	5,87	7,0	-	-
04.04.2016	4,04	7,0	-	03.10.2016	6,37	7,0	-	-
11.04.2016	5,31	7,0	-	10.10.2016	5,85	7,0	-	-
15.04.2016	4,13	7,0	-	17.10.2016	5,97	7,0	-	-
25.04.2016	6,30	7,0	-	24.10.2016	5,50	7,0	-	-
03.05.2016	6,51	7,0	-	02.11.2016	7,56	7,0	-	-
09.05.2016	4,17	7,0	-	07.11.2016	5,06	7,0	-	-
16.05.2016	5,16	7,0	-	14.11.2016	5,30	7,0	-	-
20.05.2016	4,86	7,0	-	21.11.2016	6,65	7,0	-	-
30.05.2016	8,53	7,0	-	28.11.2016	7,02	7,0	-	-
06.06.2016	7,78	7,0	-	05.12.2016	4,67	7,0	-	-
13.06.2016	7,44	7,0	-	12.12.2016	5,50	7,0	-	-
16.06.2016	3,54	7,0	-	19.12.2016	6,16	7,0	-	-
27.06.2016	7,97	7,0	14,4 ± 1,5	27.12.2016	5,91	7,0	-	-

Tabela M2: Meritve aktivnosti tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2016

Oznaka: 1.2G

Datum vzorčenja Cisterne RIC	V [m ³]	Aktivnost Co-57 [Bq/kg]	Aktivnost Co-60 [Bq/kg]	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]	Aktivnost Eu-152 [Bq/kg]	Aktivnost Eu-154 [Bq/kg]
14.01.2016	3,67	-	-	-	-	-
21.03.2016	3,75	-	0,85 ± 0,29	-	-	-
27.06.2016	3,34	-	-	-	-	-
04.08.2016	3,43	0,64 ± 0,26	6,74 ± 0,73	2,34 ± 0,59	2,17 ± 0,90	1,47 ± 0,61
20.09.2016	3,11	0,64 ± 0,24	4,14 ± 0,51	0,75 ± 0,35	2,18 ± 0,81	1,48 ± 0,55
14.12.2016	3,17	-	12,15 ± 1,05	2,28 ± 0,46	4,16 ± 0,72	-

Opomba: Cisterne OVC v letu 2016 nismo nikoli praznili.



Tabela M3: Meritve aktivnosti žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2016
Oznaka: 1.3G

Datum vzorčenja	$P_{\text{reaktorja}}$ [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
13.01.2016	250	127 ± 8
25.02.2016	250	150 ± 10
15.03.2016	250	128 ± 8
15.04.2016	250	138 ± 9
6.05.2016	250	141 ± 9
2.06.2016	250	126 ± 8
5.07.2016	250	128 ± 8
3.08.2016	250	130 ± 9
19.09.2016	250	133 ± 9
12.10.2016	250	141 ± 9
3.11.2016	250	149 ± 10
15.12.2016	250	162 ± 11
Povprečje:	250	138



Tabela M4: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2016

Oznaka: 1.4G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec			April		
4.1.16	216	-	1.2.16	181	-	3.3.16	183	-	4.4.16	226	-
7.1.16	128	-	4.2.16	175	-	7.3.16	255	-	7.4.16	171	-
11.1.16	188	-	9.2.16	273	-	10.3.16	198	-	11.4.16	249	-
14.1.16	356	-	11.2.16	133	-	14.3.15	230	-	14.4.16	192	-
18.1.16	163	-	15.2.16	181	-	17.3.16	401	-	18.4.16	264	-
21.1.16	153	-	18.2.16	172	-	21.3.16	178	-	21.4.16	209	-
25.1.16	165	-	22.2.16	214	-	24.3.16	190	-	25.4.16	234	-
28.1.16	116	-	25.2.16	189	-	29.3.16	275	-	28.4.16	193	-
			29.2.16	226	-	31.3.16	124	-			
Maj		Na-24	Junij		Na-24	Julij		Na-24	Avgust		Na-24
3.5.16	267	-	2.6.16	198	-	4.7.16	264	-	1.8.16	267	-
5.5.16	128	-	6.6.16	269	-	7.7.16	215	0,48 ± 0,17	4.8.16	221	3,03 ± 0,59
9.5.16	236	-	9.6.16	187	1,17 ± 0,23	11.7.16	280	-	8.8.16	269	-
12.5.16	195	1,60 ± 0,39	13.6.16	265	0,74 ± 0,43	14.7.16	202	-	11.8.16	208	-
16.5.16	265	-	16.6.16	195	0,87 ± 0,18	18.7.16	272	-	16.8.16	339	-
19.5.16	195	0,67 ± 0,20	20.6.16	263	-	21.7.16	211	-	18.8.16	141	-
23.5.16	254	-	23.6.16	197	1,73 ± 0,30	25.7.16	263	-	22.8.16	272	1,37 ± 0,49
26.5.16	179	1,62 ± 0,37	27.6.16	247	-	28.7.16	212	1,34 ± 0,24	25.8.16	207	1,04 ± 0,39
30.5.16	253	-	30.6.16	209	2,20 ± 0,45				29.8.16	257	-
September		Na-24	Oktober		Na-24	November			December		
1.9.16	202	-	3.10.16	261	-	2.11.16	280	-	1.12.16	188	-
5.9.16	279	-	6.10.16	199	-	7.11.16	244	-	5.12.16	164	-
8.9.16	207	3,42 ± 0,67	10.10.16	241	-	10.11.16	198	-	8.12.16	124	-
12.9.16	258	-	13.10.16	196	4,15 ± 0,66	14.11.16	212	-	12.12.16	138	-
15.9.16	196	-	17.10.16	201	-	17.11.16	159	-	15.12.16	134	-
19.9.16	264	-	20.10.16	185	-	21.11.16	213	-	19.12.16	171	-
22.9.16	201	1,16 ± 0,38	24.10.16	243	-	24.11.16	162	-	22.12.16	157	-
26.9.16	268	-	27.10.16	180	-	28.11.16	211	-	27.12.16	214	-
29.9.16	193	1,33 ± 0,44	29.10.15	261	-				29.12.16	114	-



Tabela M5: Meritve aktivnosti filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2016

Oznaka: 1.5G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec			April		
4.1.16	345	-	1.2.16	234	-	3.3.16	202	-	4.4.16	253	-
7.1.16	210	-	4.2.16	191	-	7.3.16	261	-	7.4.16	204	-
11.1.16	270	-	9.2.16	278	-	10.3.16	197	-	11.4.16	269	-
14.1.16	201	-	11.2.16	136	-	14.3.15	235	-	14.4.16	204	-
18.1.16	249	-	15.2.16	227	-	17.3.16	198	-	18.4.16	272	-
21.1.16	193	-	18.2.16	200	-	21.3.16	230	-	21.4.16	219	-
25.1.16	254	-	22.2.16	257	-	24.3.16	191	-	25.4.16	262	-
28.1.16	197	-	25.2.16	200	-	29.3.16	304	-	28.4.16	212	-
			29.2.16	261	-	31.3.16	143	-			
Maj			Junij			Julij			Avgust		
3.5.16	320	-	2.6.16	207	-	4.7.16	260	-	1.8.16	258	-
5.5.16	134	-	6.6.16	269	-	7.7.16	202	-	4.8.16	195	*
9.5.16	271	-	9.6.16	204	-	11.7.16	271	-	8.8.16	263	-
12.5.16	215	-	13.6.16	273	-	14.7.16	198	-	11.8.16	201	-
16.5.16	263	-	16.6.16	204	-	18.7.16	290	-	16.8.16	338	-
19.5.16	210	-	20.6.16	269	-	21.7.16	202	-	18.8.16	135	-
23.5.16	294	-	23.6.16	199	-	25.7.16	237	-	22.8.16	266	-
26.5.16	186	-	27.6.16	259	-	28.7.16	203	-	25.8.16	202	-
30.5.16	281	-	30.6.16	200	-				29.8.16	263	-
September			Oktober			November			December		
1.9.16	191	-	3.10.16	253	-	2.11.16	368	-	1.12.16	177	-
5.9.16	272	-	6.10.16	193	-	7.11.16	295	-	5.12.16	216	-
8.9.16	180	-	10.10.16	252	-	10.11.16	181	-	8.12.16	159	-
12.9.16	265	-	13.10.16	191	-	14.11.16	246	-	12.12.16	196	-
15.9.16	190	-	17.10.16	244	-	17.11.16	173	-	15.12.16	160	-
19.9.16	259	-	20.10.16	184	-	21.11.16	240	-	19.12.16	192	-
22.9.16	185	-	24.10.16	246	-	24.11.16	179	-	22.12.16	162	-
26.9.16	263	-	27.10.16	189	-	28.11.16	239	-	27.12.16	252	-
29.9.16	190	-							29.12.16	107	-

* Zaradi napake v postopku filter z dne 4.8.2016 ni bil izmerjen.



Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2016

Oznaka: 1.7D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,191
februar	0,167
marec	0,155
april	0,098
maj	0,085
junij	0,125
julij	0,108
avgust	0,108
september	0,121
oktober	0,166
november	0,143
december	0,091
skupaj 2016	1,558

Tabela M7: Meritve aktivnosti vode iz vodnjaka v letu 2016

Oznaka: 2.1G

Datum vzorčenja	gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
07.01.2016	10,6	-
02.02.2016	10,3	-
01.03.2016	9,3	-
06.04.2016	9,8	-
03.05.2016	9,7	-
07.06.2016	9,8	-
01.07.2016	9,7	-
01.08.2016	10,2	-
01.09.2016	10,2	-
04.10.2016	10,3	-
04.11.2016	10,2	-
01.12.2016	9,3	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M8: Meritve aktivnosti sedimentov Save (22.9.2016)

Oznaka: 2.2G – 2.3G

Izotop	A/m [Bq/kg]	
	nad izpustom	pod izpustom
masa [g]	412	365
K-40	89,6 ± 7,9	249 ± 19
Cs-137	-	0,47 ± 0,17
Ra-226	16,4 ± 1,4	22,0 ± 1,8
Ra-228	8,26 ± 0,82	19,6 ± 1,6
Th-228	6,58 ± 0,60	17,6 ± 1,4
U-238	11,6 ± 6,3	14,6 ± 7,6



Tabela M9: Meritve aktivnosti zemlje v okolici reaktorja (21.9.2016 na SV strani RC)

Oznaka: 2.4G

Izotop	A/m [Bq/kg]		A/S [kBq/m ²]
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	Depozit 0 – 20 cm
masa [g]	285	321	
K-40	391 ± 30	417 ± 31	-
Cs-137	43,4 ± 3,8	31,1 ± 2,7	7,43 ± 0,87
Pb-210	77,8 ± 20,5	30,1 ± 17,2	-
Ra-226	69,2 ± 5,8	68,4 ± 5,6	-
Ra-228	41,2 ± 3,2	45,1 ± 3,3	-
Th-228	42,5 ± 3,4	42,8 ± 3,3	-
U-238	41,2 ± 11,8	50,6 ± 11,8	-

Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2016

Oznaka: 2.6D – 2.9D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,064	0,077	0,083	0,080
februar	0,055	0,075	0,075	0,080
marec	0,060	0,077	0,078	0,070
april	0,056	0,073	0,073	0,073
maj	0,052	0,065	0,072	0,074
junij	0,063	0,076	0,074	0,075
julij	0,055	0,075	0,077	0,080
avgust	0,055	0,075	0,077	0,080
september	0,062	0,079	0,084	0,081
oktober	0,067	0,084	0,074	0,074
november	0,061	0,087	0,083	0,084
december	0,063	0,078	0,077	0,077
skupaj 2015	0,713	0,921	0,927	0,928

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ (21.9.2016 na SV strani RC)

Oznaka: 2.10IS

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
K-40	283 ± 31	-
Cs-137	24,4 ± 2,9	0,90 ± 0,11
Ra-226	28,2 ± 3,4	-
Ra-228	29,8 ± 3,4	-
Th-228	28,7 ± 3,1	-

Tabela M12: Meritev aktivnosti filtra zračnih delcev v okolici reaktorja (21.9.2016 pred transportnim vhodom v reaktorsko zgradbo)

Oznaka: 2.12G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
21.9.16	42	-

Opomba: V vzorcu ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M13: Meritve aktivnosti primarne vode reaktorja v letu 2016

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]
04.01.2016	0	-	-	6,05 ± 2,95	1,68 ± 0,53	-	4,37 ± 0,69
11.01.2016	0	-	-	-	-	-	1,01 ± 0,35
18.01.2016	5	5,16 ± 1,32	23,4 ± 3,6	-	-	-	5,27 ± 1,08
25.01.2016	0	52,5 ± 4,4	-	19,6 ± 4,3	2,97 ± 0,59	-	4,06 ± 0,66
01.02.2016	0	14,1 ± 1,5	-	21,3 ± 4,7	3,05 ± 0,60	-	5,23 ± 0,74
09.02.2016	0	38,2 ± 3,3	-	18,1 ± 4,6	2,80 ± 0,51	-	4,46 ± 0,68
15.02.2016	0	13,0 ± 1,5	-	12,2 ± 3,5	2,85 ± 0,54	-	5,40 ± 0,71
22.02.2016	0	3,85 ± 0,77	-	16,4 ± 3,8	2,80 ± 0,51	-	6,00 ± 0,75
29.02.2016	0	2,67 ± 0,56	-	-	1,24 ± 0,45	-	2,09 ± 0,50
07.03.2016	0	-	-	-	-	-	1,04 ± 0,49
14.03.2016	0	29,5 ± 2,7	-	-	2,16 ± 0,45	-	-
21.03.2016	0	64,6 ± 5,3	-	12,3 ± 3,7	2,07 ± 0,56	-	3,55 ± 0,66
23.03.2016	0	374 ± 29	7,26 ± 1,26	10,4 ± 5,0	-	9,63 ± 1,45	3,99 ± 0,85
31.03.2016	0	-	-	7,05 ± 3,03	1,92 ± 0,46	-	2,74 ± 0,49
04.04.2016	0	94,3 ± 7,6	-	17,1 ± 3,8	2,54 ± 0,59	-	4,28 ± 0,71
11.04.2016	0	-	-	-	-	-	3,16 ± 0,57
18.04.2016	0	40,2 ± 3,4	-	10,6 ± 3,8	1,73 ± 0,47	-	3,32 ± 0,56
25.04.2016	0	5,22 ± 0,95	-	18,6 ± 4,4	1,80 ± 0,44	-	4,49 ± 0,72
03.05.2016	0	-	-	-	1,27 ± 0,36	-	1,40 ± 0,42
09.05.2016	0	23,1 ± 2,1	-	-	1,78 ± 0,42	-	2,43 ± 0,60
16.05.2016	0	14,6 ± 1,5	-	-	1,45 ± 0,41	-	1,72 ± 0,47
23.05.2016	0	-	-	-	1,56 ± 0,40	-	2,44 ± 0,60
30.05.2016	0	7,66 ± 1,02	-	-	-	-	2,34 ± 0,50
06.06.2016	0	7,94 ± 0,99	-	-	-	-	1,30 ± 0,40
13.06.2016	0	26,3 ± 2,4	-	9,72 ± 2,96	1,43 ± 0,38	-	3,21 ± 0,55
20.06.2016	0	5,71 ± 0,86	-	-	-	-	2,24 ± 0,50
27.06.2016	0	7,41 ± 1,24	-	8,35 ± 3,22	1,34 ± 0,46	-	2,89 ± 0,53
04.07.2016	0	45,6 ± 3,9	-	21,9 ± 4,2	2,41 ± 0,49	-	4,67 ± 0,73
11.07.2016	0	49,4 ± 4,1	-	22,3 ± 4,0	3,64 ± 0,64	-	6,24 ± 0,84
18.07.2016	0	13,9 ± 1,4	-	11,6 ± 3,6	1,59 ± 0,53	-	3,08 ± 0,60
25.07.2016	0	30,2 ± 2,7	-	11,2 ± 3,6	1,31 ± 0,44	-	2,61 ± 0,51
01.08.2016	0	7,18 ± 1,03	-	13,0 ± 3,4	1,51 ± 0,42	-	2,08 ± 0,49
08.08.2016	0	15,1 ± 1,6	-	9,76 ± 3,19	-	-	3,28 ± 0,61
16.08.2016	0	-	-	10,3 ± 3,8	1,25 ± 0,42	-	3,14 ± 0,54
22.08.2016	250	328 ± 25	20272 ± 1554	-	-	1510 ± 117	-
29.08.2016	0	71,6 ± 5,9	-	15,6 ± 3,9	1,35 ± 0,51	-	4,52 ± 0,71
05.09.2016	250	49,7 ± 4,2	8699 ± 665	-	-	392 ± 31	-
12.09.2016	0	59,1 ± 5,9	-	17,6 ± 4,0	1,78 ± 0,48	-	3,64 ± 0,66
19.09.2016	0	29,8 ± 2,7	-	7,89 ± 3,31	1,80 ± 0,47	-	2,70 ± 0,56
26.09.2016	0	10,0 ± 1,2	-	19,5 ± 4,4	2,11 ± 0,50	-	3,52 ± 0,64
03.10.2016	0	5,58 ± 0,86	-	13,2 ± 4,6	1,84 ± 0,46	-	4,22 ± 0,61
10.10.2016	0	-	-	-	2,36 ± 0,55	-	2,48 ± 0,48
17.10.2016	0	32,4 ± 2,9	-	10,9 ± 3,1	1,46 ± 0,41	-	4,64 ± 0,68
24.10.2016	0	46,2 ± 3,9	-	18,9 ± 4,4	2,29 ± 0,53	-	5,03 ± 0,71
02.11.2016	0	4,72 ± 0,81	-	12,4 ± 4,1	2,10 ± 0,51	-	6,21 ± 0,77
07.11.2016	0	42,1 ± 3,6	-	20,4 ± 4,6	2,27 ± 0,49	-	5,63 ± 0,78
14.11.2016	0	38,2 ± 3,3	-	31,4 ± 5,4	2,84 ± 0,61	-	5,63 ± 0,75
21.11.2016	0	40,7 ± 3,5	-	24,2 ± 4,7	2,64 ± 0,77	-	5,72 ± 0,77
28.11.2016	0	2,70 ± 0,68	-	-	1,02 ± 0,43	-	2,89 ± 0,50
05.12.2016	0	5,10 ± 0,94	-	8,00 ± 3,17	0,75 ± 0,36	-	2,11 ± 0,47
06.12.2016	0	35,6 ± 3,1	291 ± 23	-	-	22,2 ± 2,5	-
12.12.2016	0	8,65 ± 1,02	-	-	-	-	-
19.12.2016	0	37,8 ± 3,3	-	12,2 ± 3,7	1,66 ± 0,45	-	3,35 ± 0,60
27.12.2016	0	-	-	14,4 ± 3,9	2,11 ± 0,47	-	2,03 ± 0,46

Nadaljevanje tabele na naslednji strani



Datum	P _{reakt.} [kW]	Co-60 [Bq/kg]	Zn-65 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	Sb-124 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
04.01.2016	0	-	-	1,53 ± 0,53	-	0,63 ± 0,34	-
11.01.2016	0	-	-	-	-	-	-
18.01.2016	5	-	-	6,32 ± 1,34	-	-	-
25.01.2016	0	1,84 ± 0,52	-	6,02 ± 0,94	4,07 ± 0,80	-	-
01.02.2016	0	-	-	3,85 ± 0,69	2,50 ± 0,59	-	-
09.02.2016	0	1,49 ± 0,32	-	5,50 ± 0,90	4,19 ± 0,72	-	4,04 ± 1,48
15.02.2016	0	-	-	5,12 ± 0,82	3,76 ± 0,64	0,55 ± 0,33	-
22.02.2016	0	1,77 ± 0,44	-	2,63 ± 0,68	2,47 ± 0,60	-	-
29.02.2016	0	-	-	3,83 ± 0,71	-	-	-
07.03.2016	0	1,29 ± 0,41	-	-	-	-	-
14.03.2016	0	-	-	2,03 ± 0,52	-	-	-
21.03.2016	0	-	-	15,3 ± 1,9	6,29 ± 1,01	-	7,60 ± 1,60
23.03.2016	0	-	-	15,2 ± 1,8	6,27 ± 1,15	-	26,6 ± 2,9
31.03.2016	0	-	-	-	-	-	-
04.04.2016	0	2,05 ± 0,44	-	4,77 ± 0,82	5,14 ± 0,92	-	8,10 ± 2,10
11.04.2016	0	-	-	3,60 ± 0,63	-	-	-
18.04.2016	0	-	-	3,01 ± 0,53	2,62 ± 0,62	-	-
25.04.2016	0	-	-	4,08 ± 0,76	2,46 ± 0,70	-	-
03.05.2016	0	1,04 ± 0,40	-	-	-	-	-
09.05.2016	0	0,67 ± 0,41	2,38 ± 0,57	1,59 ± 0,60	-	-	-
16.05.2016	0	-	-	2,22 ± 0,55	1,56 ± 0,52	-	-
23.05.2016	0	-	-	0,92 ± 0,32	-	-	-
30.05.2016	0	-	1,74 ± 0,77	-	-	-	-
06.06.2016	0	-	-	1,71 ± 0,52	-	-	-
13.06.2016	0	-	-	6,08 ± 0,91	3,91 ± 0,73	-	-
20.06.2016	0	-	-	-	-	-	-
27.06.2016	0	-	-	-	-	-	-
04.07.2016	0	-	-	2,31 ± 0,54	4,69 ± 0,65	-	4,63 ± 1,55
11.07.2016	0	-	-	6,16 ± 0,84	5,52 ± 0,90	-	11,4 ± 2,7
18.07.2016	0	-	-	2,48 ± 0,49	1,76 ± 0,58	-	-
25.07.2016	0	-	-	2,63 ± 0,68	1,76 ± 0,54	-	-
01.08.2016	0	-	-	0,89 ± 0,40	-	-	-
08.08.2016	0	2,00 ± 0,52	1,46 ± 0,65	2,11 ± 0,54	2,08 ± 0,62	-	-
16.08.2016	0	2,03 ± 0,45	-	-	-	-	-
22.08.2016	250	-	-	-	4,81 ± 2,51	-	50,7 ± 6,2
29.08.2016	0	-	-	13,4 ± 1,7	4,16 ± 0,85	-	6,52 ± 1,73
05.09.2016	250	-	-	-	-	-	-
12.09.2016	0	1,73 ± 0,33	-	12,1 ± 6,7	-	0,80 ± 0,36	-
19.09.2016	0	-	-	5,50 ± 0,82	1,50 ± 0,55	-	5,90 ± 1,68
26.09.2016	0	-	-	2,60 ± 0,66	-	-	-
03.10.2016	0	-	-	2,25 ± 0,67	1,14 ± 0,51	-	-
10.10.2016	0	-	-	-	-	-	-
17.10.2016	0	0,85 ± 0,50	-	5,41 ± 0,85	4,12 ± 0,75	-	-
24.10.2016	0	1,77 ± 0,47	-	6,71 ± 1,03	5,54 ± 0,86	-	6,54 ± 1,95
02.11.2016	0	1,56 ± 0,43	-	3,66 ± 0,66	2,27 ± 0,69	-	-
07.11.2016	0	1,82 ± 0,37	-	6,30 ± 0,97	3,75 ± 0,67	-	-
14.11.2016	0	-	-	10,4 ± 1,4	4,92 ± 0,81	0,80 ± 0,42	5,12 ± 1,55
21.11.2016	0	0,88 ± 0,42	-	6,95 ± 1,05	4,83 ± 0,77	-	5,04 ± 2,12
28.11.2016	0	1,80 ± 0,31	-	2,70 ± 0,65	1,53 ± 0,61	-	-
05.12.2016	0	-	-	-	-	0,54 ± 0,33	-
06.12.2016	0	-	-	2,24 ± 0,52	-	-	-
12.12.2016	0	-	-	1,27 ± 0,45	-	-	-
19.12.2016	0	-	-	5,32 ± 0,86	2,37 ± 0,56	-	6,16 ± 1,92
27.12.2016	0	1,04 ± 0,44	-	-	-	-	-



Tabela M14: Meritve aktivnosti sekundarne vode reaktorja v letu 2016

Oznaka: 3.2G

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
13.01.2016	-
05.02.2016	-
02.03.2016	-
01.04.2016	-
04.05.2016	-
02.06.2016	-
05.07.2016	-
03.08.2016	-
19.09.2016	-
12.10.2016	-
03.11.2016	-
09.12.2016	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve aktivnosti vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2016

Oznaka: 3.3G

Datum vzorčenja	pH	Co-60 [Bq/kg]
06.01.2016	5,5	-
03.02.2016	5,5	7,92 ± 0,78
01.03.2016	5	-
06.04.2016	5	-
04.05.2016	5	-
02.06.2016	5	-
04.07.2016	5	-
02.08.2016	5	-
14.09.2016	5	-
05.10.2016	5	-
04.11.2016	5	-
02.12.2016	5	-



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 2016 smo sodelovali v dveh mednarodnih primerjalnih meritvah, vendar je zaključena le ena. Poleg tega pa smo v letu 2016 dobili tudi rezultate za ene mednarodne primerjalne meritve, pri katerih smo sodelovali v letu 2015. Rezultati obojih potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve. Poleg mednarodnih primerjalnih meritev so bile na reaktorskem centru izvedene tudi primerjalne meritve PRIMER, kjer so rezultati potrdili ustreznost meritev.



IAEA-TEL-2016-03 Proficiency Test on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water and biota samples

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	IAEA	
Na-24	52,7 ± 3,55	53,2 ± 1,5	ustreza
Cs-134	20,7 ± 1,4	19,9 ± 0,6	ustreza
Cs-137	38,5 ± 3,1	39,6 ± 1,0	ustreza
Am-241	25,4 ± 2,9	26,7 ± 0,7	ustreza

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

NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2015

Vsebnost umetnih radionuklidov v vodnem vzorcu

Izotop	A [Bq/g]		Ustreznost
	SVPIS	NPL	
Zn-65	15,3 ± 1,0	17,52 ± 0,130	ustreza
Cs-134	2,97 ± 1,17	3,390 ± 0,024	ustreza
Cs-137	8,46 ± 0,67	9,264 ± 0,066	ustreza
Eu-154	11,1 ± 0,6	12,930 ± 0,100	delno ustreza

Količina NPL vzorca je bila manjša od standardne količine, ki jo uporabljamo za pripravo akreditiranih vzorcev na SVPIS. Zato smo vzorec razredčili z ustrezno osnovo na standardno količino. Izkazalo se je, da so vrednosti vseh naših rezultatov nižje od referenčnih vrednosti, določenih na NPL. Domnevamo, da je do tega prišlo zaradi redčenja brez dodajanja ustreznega nosilca. Kljub vsemu vsi rezultati razen Eu-154 v celoti ustrezajo, Eu-154 pa delno. Naknadno smo z referenčno vrednostjo primerjali tudi rezultate meritev, ki smo jih opravili pred redčenjem. Rezultati meritve nerazredčenega vzorca so vsi višji in se tako še bolje ujemajo z referenčno vrednostjo.

BFS Ringversuch zur Bestimmung von Gammastrahlen im Wasser, 2016

V oktobru 2016 smo merili vodo z visoko vsebnostjo umetnih gama sevalcev. Poročali smo Mn-54, Co-60, Zn-65, Cs-134, Cs-137 in Am-241. Do izdaje poročila rezultati primerjalnih meritev še niso na voljo.

5.6.2 Meritve hitrosti doze

V letu 2016 smo sodelovali na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v Ronneburgu in na primerjalnih meritvah, ki so bile organizirane na reaktorskem centru (PRIMER 2016). Pregled rezultatov omenjenih primerjalnih meritev hitrosti doze kaže dobro ujemanje znotraj 20 %.

5.7 Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa

Skladno z zahtevami Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur.l. RS 20/07, 97/09) smo v letu 2016 izvedli primerjavo z neodvisno meritvijo pooblaščenice organizacije (ZVD). Primerjali smo meritev sedimentov. Sedimente smo po vzorčenju (22.9.2016) dobro premešali ter razdelili na dva dela, enega za meritve ZVD (27.9.2016) in drugega za meritve na IJS (13.12.2016).



Izotop	A [Bq]		A _{SVPIŠ} /A _{ZVD}	u-test
	SVPIŠ	ZVD		
Be-7	19,2* ± 4,5	25,0 ± 1,9	1,30	1,19
K-40	249 ± 19	250 ± 13	1,00	0,03
Cs-137	0,47* ± 0,17	0,69 ± 0,16	1,48	0,95
Ra-226	22,0 ± 1,8	21,0 ± 0,5	0,96	-0,51
Ra-228	19,6 ± 1,6	17,0 ± 0,8	0,87	-1,45
Th-228	17,6 ± 1,4	17,0 ± 0,9	0,97	-0,36
U-238	14,6* ± 7,6	20,0 ± 4,5	1,37	0,62

*rezultat meritve je blizu meje detekcije (Be-7), na meji detekcije (U-238) oziroma celo pod mejo detekcije (Cs-137)

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. Opazno je le nekoliko večje odstopanje med vrednostmi za Be-7, Cs-137 in U-238, kar pa je pričakovano, saj so vsebnosti teh radionuklidov v vzorcu izjemno nizke in zato blizu meje detekcije.