

MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS

POROČILO ZA LETO 2013



Leto izdaje: 2014 Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar	30.3.2014	
Pregledal	mag. Matjaž Stepišnik	30.3.2014	
Odobril	prof. dr. Jadran Lenarčič		

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	mag. Bogdan Pucelj		





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 2013

Pogodbena številka: -

Odgovorni nosilec naloge: mag. Matjaž Stepišnik

Avtorji poročila: Tinkara Bučar, Matjaž Stepišnik

Izvajalci meritev: Emira Bašić, Thomas Breznik, Tinkara Bučar

Štev.del.por. IJS: IJS-DP-11560

Kopije: Arhiv SVPIS
RIC
URSJV
URSVS
Knjižnica IJS

Slika na naslovni strani: Pogled na reaktorsko zgradbo z JZ strani, foto: R. Istenič



NASLOV POROČILA:

Meritve radioaktivnosti v okolici Reaktorskega centra IJS
Poročilo za leto 2013

marec 2014

KLJUČNE BESEDE:

Radioaktivnost v okolju, naravno sevanje, zunanje sevanje, emisije, imisije, izpostavitve prebivalcev sevanju

POVZETEK:

Predstavljeni so rezultati meritev radioaktivnosti in ocena vplivov na okolje v okviru nadzornega programa Reaktorskega centra. Ocena letne dozne obremenitve za prebivalstvo znaša manj kot 0,4 μSv na leto za atmosferske in manj kot 0,01 μSv na leto za tekočinske izpuste.

REPORT TITLE:

Environmental Radiation Monitoring of Reactor Centre
Report for the year 2013

March 2014

KEYWORDS:

environmental radiation, natural radiation, external radiation, emissions, imissions, radiation exposure of population

ABSTRACT:

The results of radioactivity measurements in the vicinity of the Reactor center are presented. The exposure of the population was estimated to less than 0.4 μSv per year for atmospheric discharges and less than 0.01 μSv per year due to liquid discharges.



UPORABLJENI IZRAZI

ARSO	Agencija RS za okolje
ELME	Ekološki laboratorij z mobilno enoto
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



VSEBINA

1	POVZETEK	5
2	VZORČEVALNE LOKACIJE	7
3	OVREDNOTENJE MERITEV	8
3.1	MERITVE IZPUSTOV.....	8
3.1.1	<i>Tekočinski izpusti</i>	8
3.1.2	<i>Zračni izpusti</i>	8
3.1.3	<i>Zunanje sevanje</i>	8
3.2	MERITVE V OKOLJU.....	9
3.2.1	<i>Voda iz vodnjaka</i>	9
3.2.2	<i>Sedimenti Save</i>	10
3.2.3	<i>Zemlja</i>	10
3.2.4	<i>Zunanje sevanje</i>	10
3.2.5	<i>Vzdrževanje pripravljenosti</i>	12
3.3	MERITVE REAKTORSKIH TEKOČIN.....	14
3.3.1	<i>Primarna voda</i>	14
3.3.2	<i>Sekundarna voda</i>	14
3.3.3	<i>Voda iz bazena za iztrošene gorivne elemente</i>	14
4	OCENA VPLIVOV	15
4.1	ATMOSFERSKI IZPUSTI.....	15
4.1.1	<i>Ocena prejete efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov</i>	16
4.2	TEKOČINSKI IZPUSTI.....	18
4.2.1	<i>Ocena prejetih efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov</i>	18
5	MERSKI REZULTATI	20
5.1	PROGRAM NADZORNIH MERITEV SEVANJA V OKOLJU REAKTORSKEGA CENTRA.....	20
5.1.1	<i>Program meritev izpustov</i>	20
5.1.2	<i>Program meritev v okolju</i>	21
5.1.3	<i>Program meritev reaktorskih tekočin</i>	21
5.2	PREGLED TABEL.....	22
5.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN.....	31
5.3.1	<i>Voda</i>	31
5.3.2	<i>Zemlja</i>	31
5.3.3	<i>Zrak</i>	31
5.3.4	<i>Zunanja doza</i>	31
5.4	MERSKE METODE.....	31
5.4.1	<i>Termoluminiscenčna dozimetrija</i>	31
5.4.2	<i>Visokoločljivostna spektrometrija gama</i>	31
5.4.3	<i>Meritve hitrosti doze</i>	31
5.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE IN NAČIN POROČANJA ZA VLG SPEKTROMETRIJO.....	32
5.6	PRIMERJALNE MERITVE.....	32
5.6.1	<i>The IAEA-TEL-2012-03 World-wide Proficiency Test on the determination of radionuclides in soil, hay and water 2012</i>	32
5.6.2	<i>NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2013</i>	33



1 POVZETEK

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2013 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.

Nadzorne meritve sestavljajo trije sklopi:

1. meritve izpustov (**emisije**),
2. meritve v okolju (**imisije**),
3. 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.

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 SVPIS.

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.

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.

Na podlagi konservativnih predpostavk je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja na prebivalca v okolici Reaktorskega centra zaradi atmosferskih izpustov plina Ar-41 ocenjena na manj kot 0,4 μSv , enako kot v letu 2012.

Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila konservativno ocenjena na manj kot 0,01 μSv na leto, enako kot v letu 2012.

Ocena izpostavljenosti prebivalstva zaradi atmosferskih (reaktor TRIGA) in tekočinskih izpustov (odsek O-2) je podobna kot v prejšnjih letih.

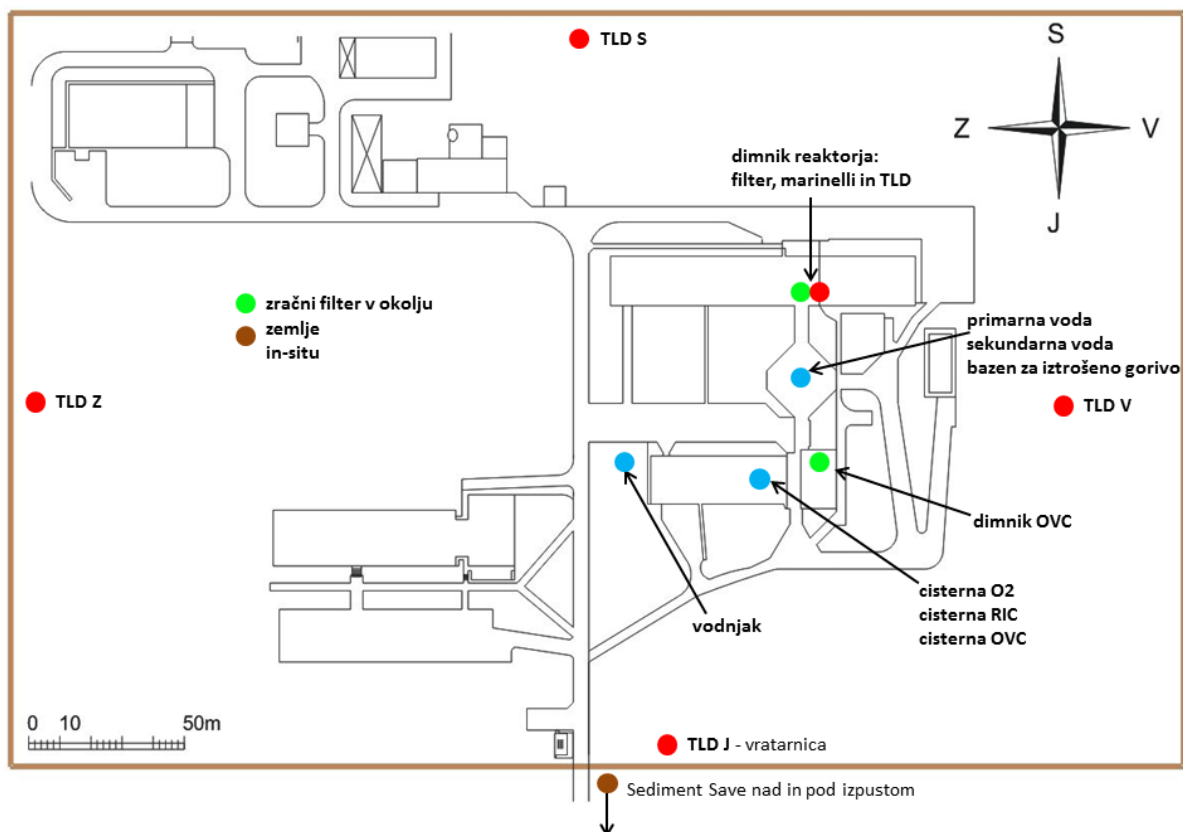


Sevalna izpostavitve prebivalstva zaradi dejavnosti Rektorskega centra je zanemarljiva v primerjavi z neizogibno izpostavitvijo naravnemu sevanju v običajnem okolju (2,4 mSv na leto) in predstavlja približno 1/100 avtorizirane dozne omejitve za prebivalstvo, ki znaša 50 μ Sv na leto.



2 Vzorčevalne lokacije

Program nadzora je podrobneje predstavljen v poglavju Merski rezultati (poglavje 5). Večina merilnih mest je znotraj ograje Reaktorskega centra, vzorčenje savskega sedimenta pa se izvaja izven ograje Reaktorskega centra na izpustnem kanalu tekočinskih odpadkov v reko Savo. Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1. Vzorčenje poteka skladno s postopkom *Vzorčenje in meritve za ocenjevanje vpliva Reaktorskega centra na okolje (SVPIS-R-DN-31)*.



Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Reaktorskem centru



3 Ovrednotenje meritev

3.1 Meritve izpustov

Z meritvami izpustov ocenjujemo prispevek dejavnosti na Rektorskem centru k izpostavitvi prebivalstva sevanju. 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 ponedeljekih, 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 občasno prisotne le v tekočinah iz zadrževalne cisterne Odseka za znanosti o okolju (O-2). Rezultati meritev za leto 2013 so združeni v tabeli M1 in kažejo, da smo le enkrat zaznali prisotnost umetnih radionuklidov (Na-24) v tej cisterni. Aktivnost Na-24 je bila na detekcijski meji. V cisterni drenaže reaktorja nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov (tabela M2). Cisterna reaktorja je bila v letu 2013 izčrpana sedemkrat. Tekočine iz zadrževalne cisterne drenaže OVC nismo merili, saj je bila cisterna celo leto suha.

3.1.2 Zračni izpusti

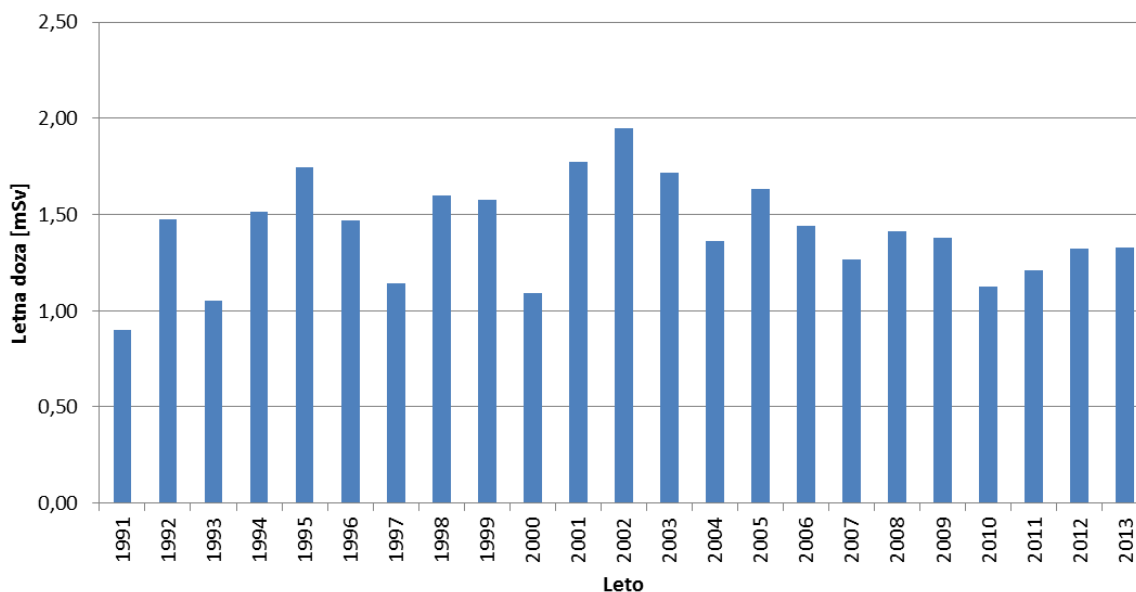
Pri atmosferski prenosni poti je najpomembnejše izpuščanje Ar-41 iz prezračevalnega sistema reaktorja. V votlih delih ob sredici (obsevalni kanali) iz naravnega argona v zraku z aktivacijo nastaja radioaktivni Ar-41, ki ima kratko razpolovno dobo (1,83 ure). Argon vzorčujemo v dimniku reaktorja enkrat mesečno, tako da odvzamemo 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.

Vsebnost Ar-41 v dimniku reaktorja je v tabeli M3. Koncentracija argona ob delujočem reaktorju je bila v povprečju 80 kBq/m³. Na filterih zračnih delcev smo v dimniku reaktorja občasno zaznali nizke aktivnosti Na-24 (tabela M4), primerljive z mejo detekcije. Največja izmerjena koncentracija 7,6 mBq/m³ je bila izmerjena v juliju in predstavlja 0,01 ‰ izvedene koncentracije za prebivalstvo (530 Bq/m³). Na izpuhu iz OVC umetnih radionuklidov nismo zaznali (tabela M5).

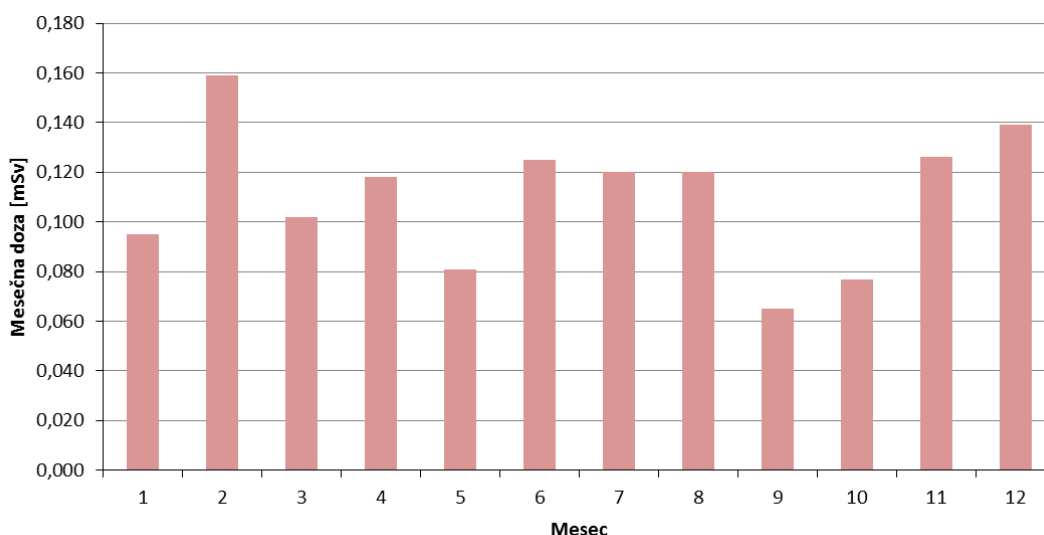
3.1.3 Zunanje sevanje

Na izpuhu reaktorja je nameščen še TLD, katerega doza je korelirana s časom in močjo obratovanja reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja in katerega vrednosti so predstavljene na sliki 6.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2013 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 2013 je bila skupna letna doza TLD 1,3 mSv in je na sliki 3 razčlenjena po posameznih mesecih.



Slika 2: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2013



Slika 3: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2013 (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. Redne meritve 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 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. V vzorcu sedimentov iznad izpusta nismo zaznali Cs-137, v vzorcu sedimenta izpod izpusta pa smo ga zaznali. Izmerjena koncentracija Cs-137 je bila 1,6 Bq/kg. 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 vrhnjih plasteh zemlje. Običajna koncentracija Cs-137 je v vrhnjih plasteh zemlje namreč nekaj deset Bq/kg.

3.2.3 Zemlja

Vzorčili smo tudi zemljo na travniku na zahodni strani reaktorja (tabela M9). Vzorčenje smo izvedli s pomočjo "corerja" in naredili analizo za tri globine. Vsebnosti naravnih radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost Cs-137 v zgornji plasti (44 ± 3 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

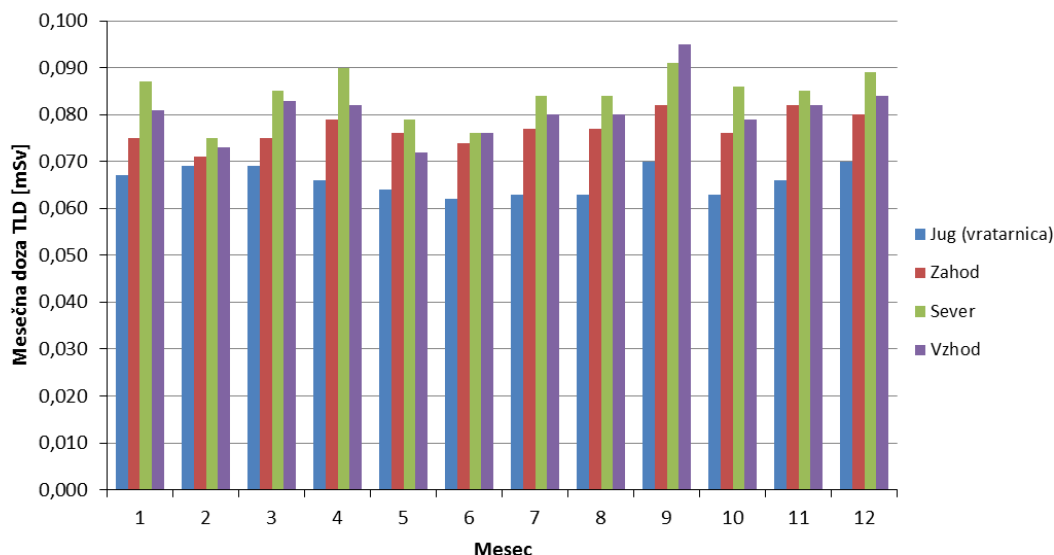
Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih točkah znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri so nameščeni na višini 1m in pokrivajo štiri osnovne smeri neba. Izvajanje meritev na posameznih točkah se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1).

Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD

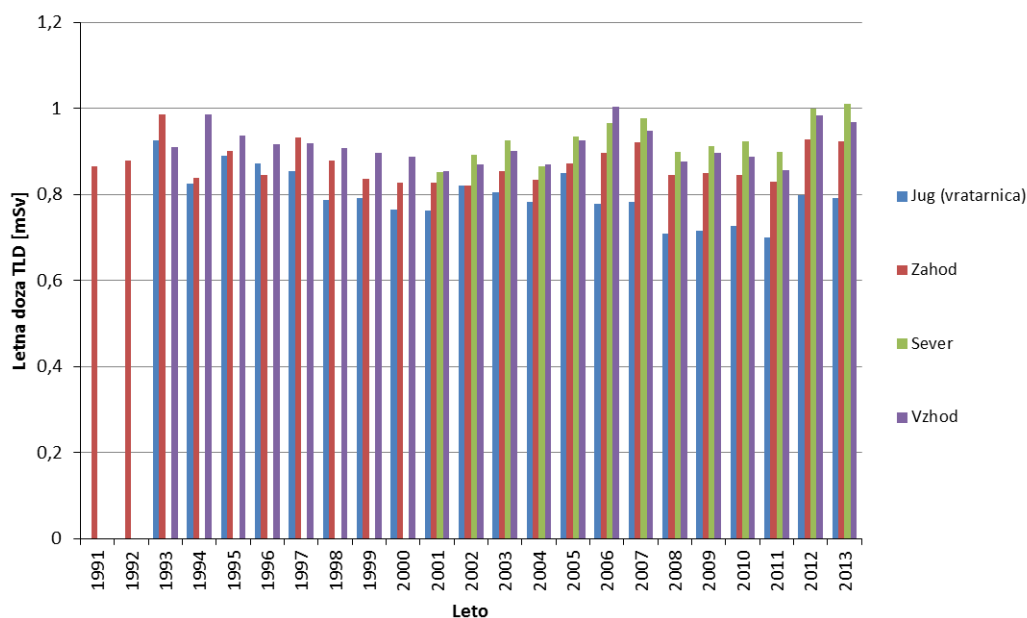
Oznaka	Mesto	Uveden	Opomba
TLD-jug	vratarnica	1993	vhod v Reaktorski center
TLD-zahod	meteorološka postaja	1991	kontinuirni merilnik URSJV
TLD-sever	ograja	2001	severno mesto – ograja RC
TLD-vzhod	bližina reaktorja, skladišča RAO	1993	kontinuirno mesto LB111 (okolje)

Na vzhodni merilni točki (TLD-vzhod) poteka tudi kontinuirna meritev hitrosti doze z detektorjem Berthold LB111.

Mesečne doze TLD na merilnih točkah za leto 2013 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, letne vrednosti pa so na ravni tistih, ki jih pričakujemo v običajnem naravnem okolju (okrog 0,07 mSv/mesec oziroma 0,9 mSv/leto).



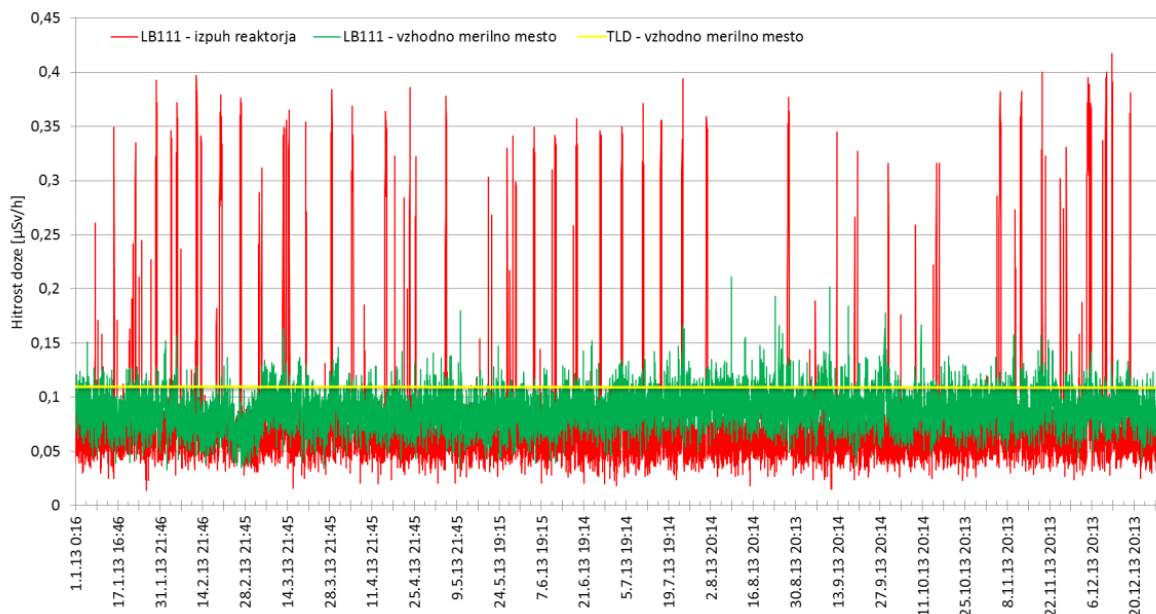
Slika 4: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2013 (Oznaka 2.6D – 2.9D)



Slika 5: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2013

Na sliki 6 je hitrost doze merjena v polurnih intervalih z merilnikom Berthold LB111 na vzhodni kontrolni točki in na izpuhu iz reaktorske hale. Izstopajo sledeče značilnosti:

- Do opaznih povečanj zunanje sevanja (med 0,3 in 0,4 $\mu\text{Sv/h}$) na izpuhu reaktorja prihaja ob obratovanju reaktorja in jih povzročata 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 se pojavljajo tudi ob padavinah, ki iz ozračja izperejo kratkožive radonove potomce. Pojav je naraven in ni povezan z obratovanjem reaktorja.
- S slike 6 lahko razberemo, 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.



Slika 6: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2013 (kontinuirni merilnik Berthold LB111 in TLD) (Oznaka: 1.6HD)

3.2.5 Vzdrževanje pripravljenosti

V program vzdrževanja pripravljenosti spadajo meritve kontaminacije zemlje in zraka v okolju za primer izrednega dogodka. 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.

In-situ spektrometrijo gama smo izvedli s prenosnim HPGe spektrometrom na travniku zahodno od reaktorja, severno od zgradbe ICJT (slika 7). Rezultati meritev so v tabeli M11 in smo jih na rednem usposabljanju mobilnega radiološkega laboratorija ELME (RUME 2/13, IJS-DP-11466) primerjali z meritvami ELME. Vsi rezultati poročanih radionuklidov se dobro ujemajo, kar potrjuje njihovo zanesljivost.



Slika 7: In-situ spektrometrija gama na zahodni strani reaktorja v okviru vaje in primerjalnih meritev med tremi različnimi laboratoriji, 18.9.2013

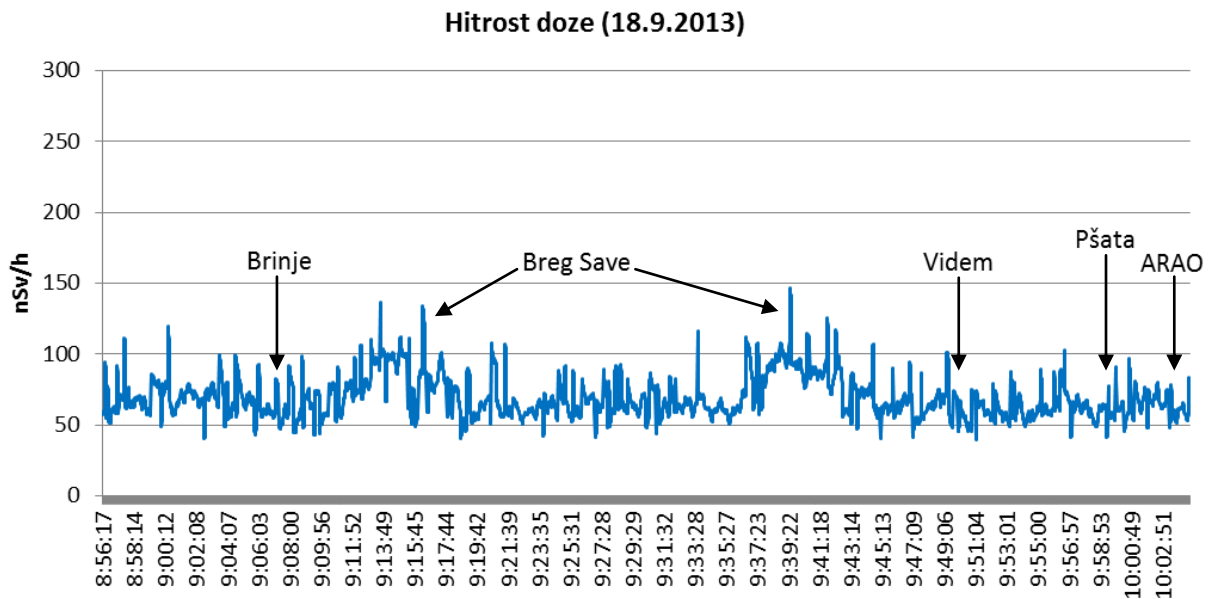


Pri in-situ meritvah smo po pričakovanju zaznali prisotnost naravnih radionuklidov in Cs-137, ki je posledica kontaminacije širšega okolja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij in černobilske nesreče. Vse vrednosti so običajne za naravno okolje. Vrednosti za Cs-137 (27 ± 6 Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve) so na tej lokaciji nekoliko nižje od rezultatov meritev v letu 2012, ki so bili merjeni na zahodni kontrolni točki (45 ± 5 Bq/kg ob predpostavki enakomerne porazdelitve).

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.

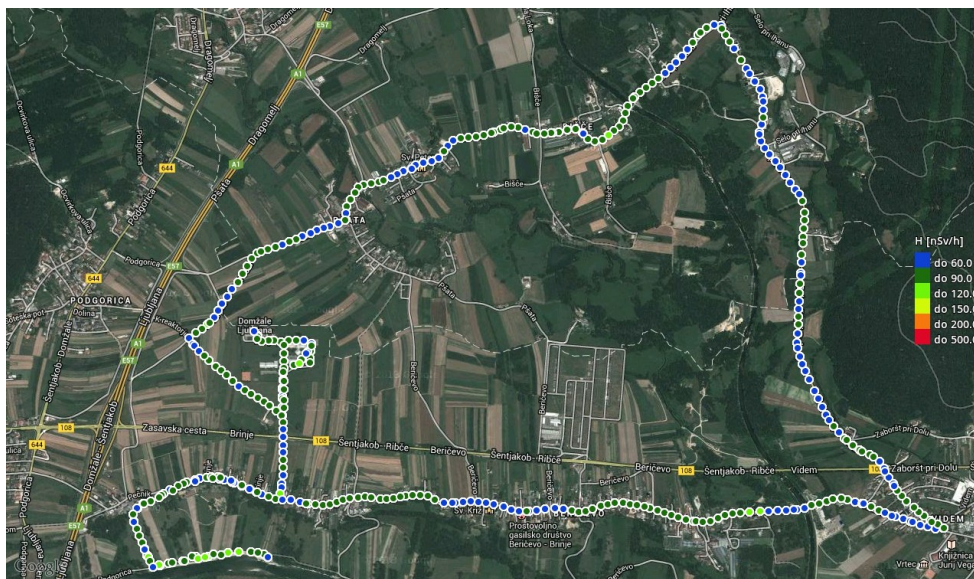
Zrak smo vzorčili s prenosnim vzorčevalnikom in izmerili v laboratoriju s spektrometrijo gama. Rezultati meritev so v tabeli M12. V vzorcu nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov.

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 objektov Reaktorskega centra (18.9.2013 s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H).

Oznaka: 2.11HD



Slika 9: Lokacija meritev hitrosti doze na krožni poti v okolici objektov Reaktorskega centra (18.9.2013)

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-56, Co-58, Tc-99m, Sb-122, Sb-124 in W-187. Njihove koncentracije so za primarno vodo običajne. V primarni vodi nismo zaznali fizijskih produktov, iz česar je razvidno, da je gorivo nepoškodovano.

3.3.2 Sekundarna voda

Vzorčenje sekundarne vode poteka enkrat na mesec med obratovanjem reaktorja. Rezultati meritev so v tabeli M14. Ker v vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid, lahko 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 je bil le enkrat zaznan Cs-137 na detekcijski meji. Prisotnost Cs-137 je posledica pretekle kontaminacije. V vodi bazena za iztrošene gorivne elemente smo v preteklosti redno merili Co-60 in Cs-137 v nizkih koncentracijah, čeprav v bazenu od leta 2001 ni več izrabljenih gorivnih elementov.



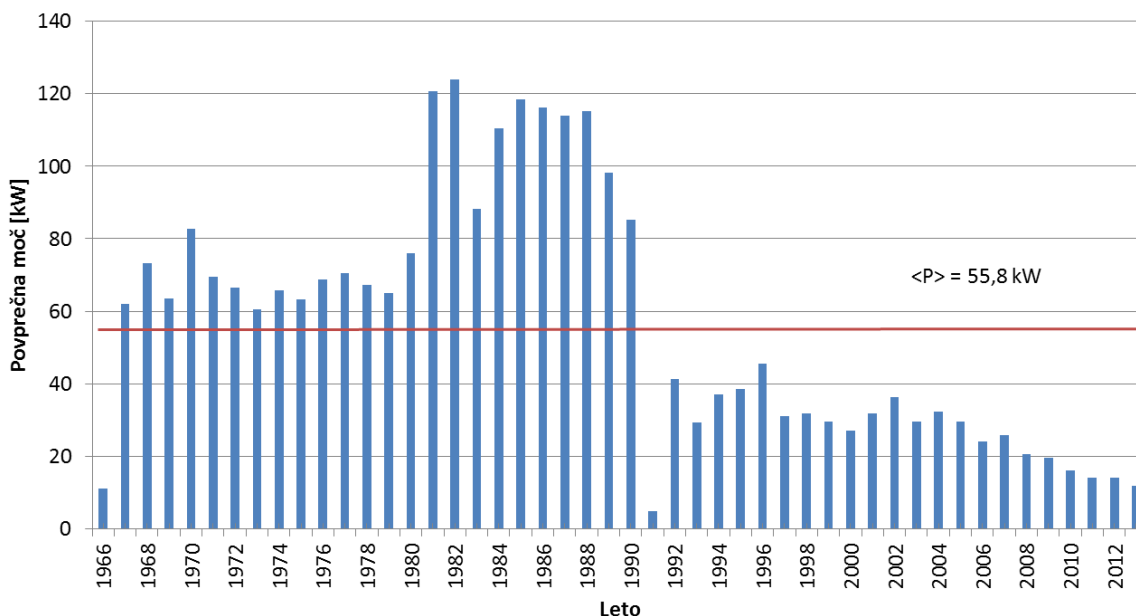
4 Ocena vplivov

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). Na filtrih zračnih delcev v dimniku reaktorja smo sicer nekajkrat zaznali nizke aktivnosti Na-24, vendar predstavljajo zanemarljiv prispevek pri vrednotenju vpliva na prebivalstvo, zato ga nismo vključili v oceno doz.

4.1 Atmosferski izpusti

Med obratovanjem reaktorja nastaja v zraku ob sredici radioaktivni Ar-41 z aktivacijo Ar-40. Ventilacijski sistem ga sproti izpihava v okolje. Aktivnost nastalega Ar-41 je po prehodnem obdobju po zagonu reaktorja sorazmerna z obratovalno močjo reaktorja. Občasne meritve na izpuhu kažejo, da je značilna koncentracija okrog 100 kBq/m^3 pri moči reaktorja 250 kW (tabela M3). 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 zgornja ocena za aktivnost Ar-41 100 kBq/m^3 , kar pri danem pretoku pomeni hitrost izpuščanja Ar-41 $0,5 \text{ MBq/s}$. V letu 2013 je bila povprečna moč reaktorja 11,9 kW (slika 10) in ocena za povprečno hitrost izpuščanja ($Q = \frac{P}{P_{\max}} Q_{\max}$) 24 kBq/s ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41 $0,8 \text{ TBq}$.



Slika 10: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2013

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

- upoštevamo Gaussov model za talni izpust ($h = 0 \text{ m}$),



- 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 24 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]	238	12
disperzijski faktor ($v \chi / Q$) razred E (m^{-2})	2,0E-2	1,0E-3
χ – koncentracija [Bq/m^3]	476	24

4.1.1 Ocena prejete efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov

Pri oceni prejete efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov smo uporabili sledeče vhodne parametre in predpostavke:

- dozni pretvorbeni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41: $5,3E-3 \mu Sv/dan/Bq/m^3$,
- 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),
- 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

Prejeto efektivno dozo zaradi zunanje izpostavljenosti Ar-41 izračunamo iz enačbe:

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

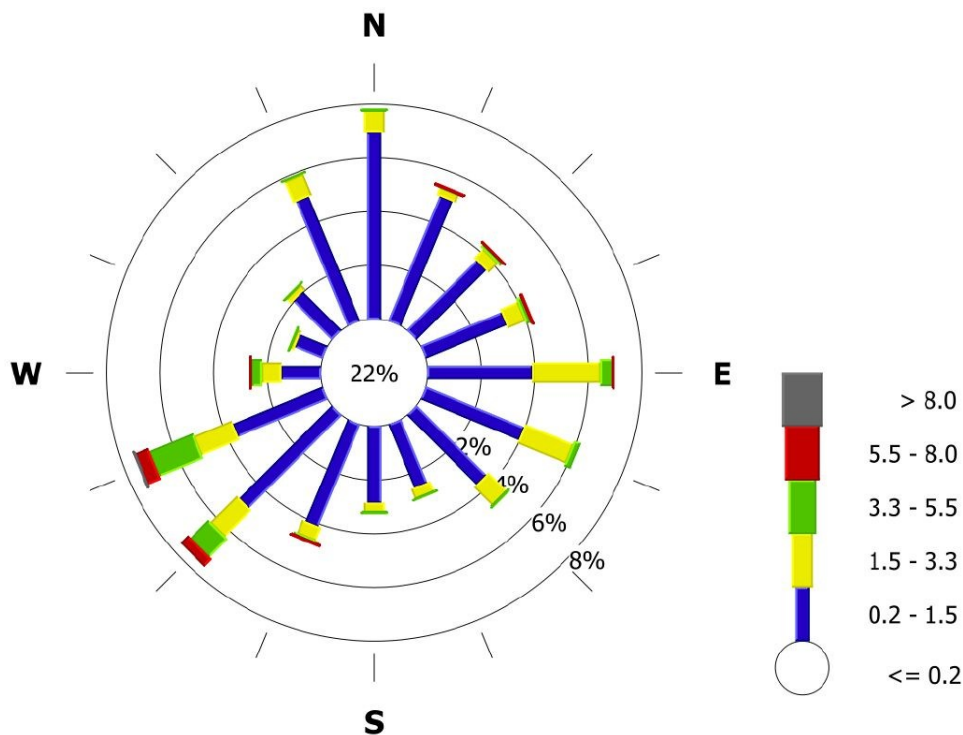
kjer je:

- 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.

Doze so zaradi primerljivosti s prejšnjimi leti računane za najbližje naselje Pšata. Iz rože vetrov za leto 2013 (slika 11), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje Reaktorskega centra, vidimo, da je veter pihal v smeri najbližjega naselja Pšata 7,5 % časa in da je bila hitrost vetra v povprečju 2,2 m/s, kar je več kot 1 m/s, kolikor smo upoštevali v izračunu. V tabeli 4 so izračunane hitrosti doze in efektivna letna doza za naselje Pšata. Roža vetrov sicer za letošnje leto kaže, da je bila dominantna smer vetra od severa proti jugu, torej v smeri Brinja (7,8 % časa, s povprečno hitrostjo 0,85 m/s), vendar se izkaže, da je red velikosti ocenjenih doz za Brinje enak kot ga da preračun za Pšato.



Slika 11: Roža vetrov za leto 2013, vrednosti hitrosti v legendi so v m/s, osrednji del predstavlja brezvetrje (22%)

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	1,57 E-4	3,67 E-5
	Letna doza [μSv]	0,01	0,32
E	Hitrost doze [$\mu\text{Sv/h}$]	3,14 E-4	5,24 E-5
	Letna doza [μSv]	0,02	0,46
Povprečje D in E		0,02	0,39

Če se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je prejeta efektivna letna doza 0,02 μSv . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju prejeta efektivna letna doza 0,39 μSv . **Ocenjujemo, da je efektivna letna doza, prejeta preko te prenosne**



poti, zanemarljiva. Tudi v primeru, da bi reaktor obratoval celo leto na polni moči, bi bila prejeta letna doza na oddaljenosti 500 m zanemarljiva ($< 10 \mu\text{Sv}$).

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 2012 prvič do sedaj nismo zaznali v izpustih nobenih umetnih radionuklidov, v letu 2013 pa je bil v izpustih le enkrat zaznan umetni radionuklid Na-24.

4.2.1 Ocena prejetih efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov

Ocena doze zaradi tekočinskih izpustov temelji na hipotetični predpostavki zauživanja savske vode po izpustu tekočin iz zadrževalne cisterne. 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 ($58 \text{ m}^3/\text{s}^*$),
- t_{izp} trajanje izpusta (okrog 2 h),
- V_1 količina zaužite vode v enem letu ($0,75 \text{ m}^3/\text{leto}$),
- $DF_{\text{ing},i}$ dozni faktor za ingestijo izotopa i .

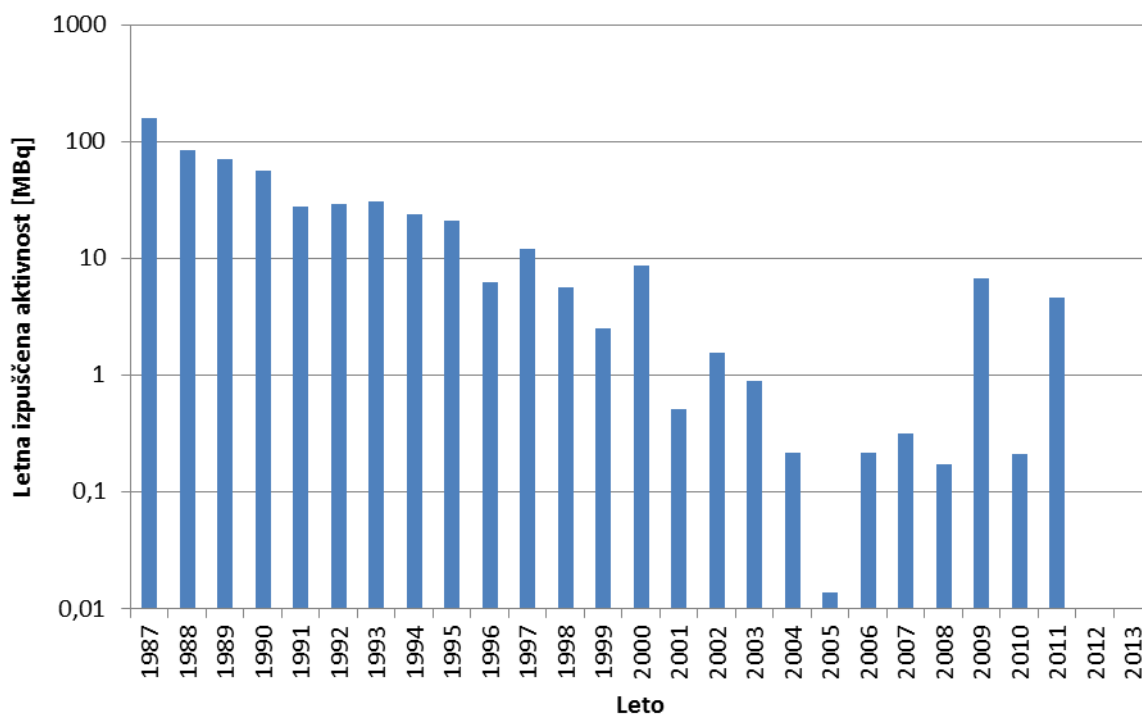
* Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov $58 \text{ m}^3/\text{s}$, čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot $58 \text{ m}^3/\text{s}$, zato z ohranjanjem nižje številke ostaja ocena konzervativna.

V letu 2013 smo zaznali en sam izpust Na-24 (tabela M1, slika 12). V tabeli 5 so ocenjene letne ingestijske doze.

Tabela 5: Ocenjene letne doze zaradi tekočinskih izpustov

Radionuklid	A [Bq/leto]	D_{ing} [Sv/Bq]	E [nSv]
Na-24	17,4	4,30E-10	1,35E-05
Skupaj	17,4		1,35E-05

Efektivna letna ingestijska doza je ocenjena na manj kot $0,01 \mu\text{Sv}$. **Ocenjujemo, da je tudi efektivna letna doza preko te prenosne poti zanemarljiva.**



Slika 12: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O-2 v obdobju 1987-2013



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	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

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 tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic (1.2G)

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

Tabela M4: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja (1.4G)

Tabela M5: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice (1.5G)

Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja (1.7D)

Tabela M7: Meritve vode iz vodnjaka (2.1G)

Tabela M8: Meritve sedimentov Save (2.2G – 2.3G)

Tabela M9: Meritve 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 filtra zračnih delcev v okolici reaktorja (2.12G)

Tabela M13: Meritve primarne vode reaktorja (3.1G)

Tabela M14: Meritve sekundarne vode reaktorja (3.2G)

Tabela M15: Meritve vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente (3.3G)



Tabela M1: Meritve tekočinskih izpustov iz zadrževalne cisterne odseka O-2 v letu 2013

Oznaka: 1.1G

Datum vzorčenja	V [m ³]	pH	Aktivnost Na-24 [Bq/kg]
07.01.2013	9,5	7,0	-
14.01.2013	7,32	7,0	-
21.01.2013	4,63	7,0	-
28.01.2013	3,91	7,0	-
11.02.2013	5,46	7,0	-
18.02.2013	4,13	7,0	-
25.02.2013	4,81	7,0	-
04.03.2013	4,04	7,0	-
11.03.2013	3,97	7,0	-
18.03.2013	5,96	7,0	-
25.03.2013	6,18	7,0	-
02.04.2013	6,35	7,0	-
08.04.2013	3,52	7,0	-
15.04.2013	6,11	7,0	-
22.04.2013	4,88	7,0	-
06.05.2013	6,91	7,0	-
13.05.2013	5,77	7,0	-
20.05.2013	5,43	7,0	-
27.05.2013	4,68	7,0	-
03.06.2013	4,21	7,0	4,14E-03± 1,32E-03
10.06.2013	4,8	7,0	-
17.06.2013	5,68	7,0	-
24.06.2013	5,58	7,0	-
01.07.2013	5,84	7,0	-
08.07.2013	6,77	7,0	-
15.07.2013	8,22	7,0	-
22.07.2013	6,6	7,0	-
29.07.2013	4,57	7,0	-
05.08.2013	6,41	7,0	-
12.08.2013	5,58	7,0	-
26.08.2013	9,48	7,0	-
02.09.2013	4,60	7,0	-
09.09.2013	6,11	7,0	-
16.09.2013	4,88	7,0	-
23.09.2013	5,25	7,0	-
30.09.2013	6,09	7,0	-
08.10.2013	7,96	7,0	-
14.10.2013	6,91	7,0	-
21.10.2013	7,02	7,0	-
04.11.2013	12,34	7,0	-
11.11.2013	4,93	7,0	-
18.11.2013	7,48	7,0	-
25.11.2013	5,68	7,0	-
02.12.2013	6,56	7,0	-
09.12.2013	6,86	7,0	-
16.12.2013	4,91	7,0	-
30.12.2013	9,37	7,0	-



Tabela M2: Meritve tekočinskih izpustov iz drenaže reaktorja in vročih celic v letu 2013

Oznaka: 1.2G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq/kg]
06.02.2013	3,51	-
12.03.2013	3,63	-
10.05.2013	3,51	-
10.07.2013	3,53	-
26.08.2013	3,86	-
14.10.2013	3,56	-
18.11.2013	3,74	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid. Cisterne OVC v letu 2013 nismo nikoli praznili.

Tabela M3: Meritve žlahtnih plinov (Ar-41) v izpuhu iz reaktorja v letu 2013

Oznaka: 1.3G

Datum vzorčenja	P _{reaktorja} [kW]	Aktivnost Ar-41 [kBq/m ³]
16.01.2013	250	21,7 ± 1,9*
21.02.2013	250	73,5 ± 6,3
14.03.2013	250	88,0 ± 7,3
16.04.2013	250	73,3 ± 6,2
27.05.2013	250	82,6 ± 7,0
05.06.2013	250	76,6 ± 6,5
04.07.2013	250	82,5 ± 6,9
01.08.2013	250	79,7 ± 6,7
16.10.2013	250	23,0 ± 2,4*
13.11.2013	250	81,4 ± 6,8
05.12.2013	250	83,9 ± 7,1
Povprečje:	250	80,2

Opomba:

* Vrednosti niso upoštevane v povprečju, ker je reaktor premalo časa deloval na polni moči, da bi se vzpostavilo ravnovesje.


Tabela M4: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2013

Oznaka: 1.4G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]
Januar			Februar			Marec		
2.1.13	385	-	4.2.13	205	-	4.3.13	182	-
7.1.13	193	-	7.2.13	164	-	7.3.13	139	-
10.1.13	167	-	11.2.13	196	-	11.3.13	224	-
14.1.13	200	-	14.2.13	147	-	14.3.13	178	-
17.1.13	150	-	18.2.13	178	-	18.3.13	235	-
21.1.13	200	-	21.2.13	185	-	21.3.13	170	-
24.1.13	138	-	25.2.13	232	-	25.3.13	238	-
28.1.13	218	-	28.2.13	117	-	28.3.13	178	-
31.1.13	149	-						
April			Maj			Junij		
2.4.13	258	-	6.5.13	365	-	3.6.13	269	-
4.4.13	141	-	9.5.13	194	-	6.6.13	197	1,08 ± 0,18
8.4.13	231	-	13.5.13	261	-	10.6.13	270	-
11.4.13	179	-	16.5.13	202	-	13.6.13	199	0,69 ± 0,28
15.4.13	244	-	20.5.13	262	-	17.6.13	251	-
18.4.13	184	-	23.5.13	204	-	20.6.13	199	0,75 ± 0,15
22.4.13	217	-	27.5.13	273	-	24.6.13	248	-
25.4.13	190	-	30.5.13	201	-	27.6.13	203	0,43 ± 0,09
29.4.13	237	-						

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost Na-24 [Bq]
Julij			Avgust			September		
1.7.13	273	-	1.8.13	233	-	2.9.13	237	-
4.7.13	192	-	5.8.13	261	-	5.9.13	177	-
8.7.13	258	-	8.8.13	194	-	9.9.13	238	-
11.7.13	192	1,46 ± 0,28	13.8.13	402	-	12.9.13	181	-
15.7.13	259	-	14.8.13	71	-	16.9.13	235	-
18.7.13	188	0,74 ± 0,25	19.8.13	243	-	19.9.13	181	-
22.7.13	248	-	22.8.13	194	-	23.9.13	234	-
25.7.13	150	-	26.8.13	189	-	26.9.13	179	-
29.7.13	244	-	29.8.13	159	-	30.9.13	236	-
Oktober			November			December		
3.10.13	179	-	4.11.13	347	-	2.12.13	153	-
7.10.13	202	-	7.11.13	174	-	5.12.13	145	-
10.10.13	258	-	11.11.13	194	-	9.12.13	124	-
14.10.13	220	-	14.11.13	175	-	12.12.13	112	-
17.10.13	167	-	18.11.13	197	-	16.12.13	176	-
21.10.13	175	-	21.11.13	139	-	19.12.13	146	-
24.10.13	148	-	25.11.13	217	-	23.12.13	103	-
28.10.13	199	-	28.11.13	179	-	30.12.13	303	-


Tabela M5: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2013

Oznaka: 1.5G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Januar			Februar			Marec		
2.1.13	263	-	4.2.13	161	-	4.3.13	159	-
7.1.13	193	-	7.2.13	108	-	7.3.13	116	-
10.1.13	115	-	11.2.13	168	-	11.3.13	154	-
14.1.13	149	-	14.2.13	124	-	14.3.13	116	-
17.1.13	124	-	18.2.13	160	-	18.3.13	160	-
21.1.13	162	-	21.2.13	120	-	21.3.13	113	-
24.1.13	118	-	25.2.13	171	-	25.3.13	161	-
28.1.13	186	-	28.2.13	117	-	28.3.13	115	-
31.1.13	112							
April			Maj			Junij		
2.4.13	217	-	6.5.13	284	-	3.6.13	168	-
4.4.13	102	-	9.5.13	123	-	6.6.13	124	-
8.4.13	187	-	13.5.13	175	-	10.6.13	170	-
11.4.13	135	-	16.5.13	134	-	13.6.13	129	-
15.4.13	187	-	20.5.13	168	-	17.6.13	172	-
18.4.13	138	-	23.5.13	124	-	20.6.13	181	-
22.4.13	176	-	27.5.13	160	-	24.6.13	271	-
25.4.13	136	-	30.5.13	133	-	27.6.13	106	-
29.4.13	173							

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]	Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
Julij			Avgust			September		
1.7.13	185	-	1.8.13	120	-	2.9.13	158	-
4.7.13	156	-	5.8.13	159	-	5.9.13	96	-
8.7.13	172	-	8.8.13	117	-	9.9.13	153	-
11.7.13	124	-	13.8.13	194	-	12.9.13	106	-
15.7.13	160	-	14.8.13	107	-	16.9.13	141	-
18.7.13	123	-	19.8.13	243	-	19.9.13	106	-
22.7.13	165	-	22.8.13	136	-	23.9.13	138	-
25.7.13	127	-	26.8.13	175	-	26.9.13	100	-
29.7.13	156	-	29.8.13	125	-	30.9.13	128	-
Oktober			November			December		
3.10.13	99	-	4.11.13	280	-	2.12.13	155	-
7.10.13	130	-	7.11.13	118	-	5.12.13	117	-
10.10.13	115	-	11.11.13	145	-	9.12.13	144	-
14.10.13	135	-	14.11.13	119	-	12.12.13	103	-
17.10.13	109	-	18.11.13	154	-	16.12.13	140	-
21.10.13	130	-	21.11.13	122	-	19.12.13	103	-
24.10.13	115	-	25.11.13	155	-	23.12.13	122	-
28.10.13	139	-	28.11.13	120	-	30.12.13	329	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.



Tabela M6: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2013

Oznaka: 1.7D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,095
februar	0,159
marec	0,102
april	0,118
maj	0,081
junij	0,125
julij	0,120
avgust	0,120
september	0,065
oktober	0,077
november	0,126
december	0,139
skupaj 2013	1,327

Tabela M7: Meritve vode iz vodnjaka v letu 2013

Oznaka: 2.1G

Datum vzorčenja	gladina podtalnice [m]	Aktivnost [Bq/kg]
04.01.2013	9,5	-
04.02.2013	9,2	-
05.03.2013	9,6	-
02.04.2013	8,5	-
08.05.2013	9,2	-
04.06.2013	9,1	-
01.07.2013	9,8	-
01.08.2013	10,1	-
03.09.2013	10,1	-
02.10.2013	9,9	-
07.11.2013	9,5	-
02.12.2013	9,3	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M8: Meritve sedimentov Save (18.9.2013)

Oznaka: 2.2G – 2.3G

Izotop	A/m [Bq/kg]	
	nad izpustom	pod izpustom
masa [g]	368	321
K-40	238 ± 25	425 ± 41
Cs-137	-	1,56 ± 0,63
Ra-226	24,4 ± 1,6	30,1 ± 2,0
Ra-228	17,5 ± 1,7	33,2 ± 2,8
Th-228	18,1 ± 1,3	31,1 ± 2,1
U-238	30,6 ± 6,5	46,9 ± 19,5



Tabela M9: Meritve zemlje v okolici reaktorja (18.9.2013 na zahodni strani reaktorja)

Oznaka: 2.4G

Izotop	A/m [Bq/kg]			A/S [kBq/m ²]
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	Depozit 0 – 15 cm
masa [g]	270	288	305	
K-40	387 ± 40	418 ± 42	417 ± 42	-
Cs-137	43,7 ± 3,1	45,9 ± 3,2	39,9 ± 2,8	6,1 ± 0,5
Ra-226	50,4 ± 3,4	51,5 ± 3,4	72,6 ± 4,6	-
Ra-228	47,4 ± 3,9	50,8 ± 3,9	53,1 ± 4,0	-
Th-228	42,1 ± 3,0	45,0 ± 3,1	44,0 ± 3,0	-
U-238	58,6 ± 24,3	53,5 ± 24,5	68,5 ± 9,2	-

Tabela M10: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2013

Oznaka: 2.6D – 2.9D

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,067	0,075	0,087	0,081
februar	0,069	0,071	0,075	0,073
marec	0,069	0,075	0,085	0,083
april	0,066	0,079	0,090	0,082
maj	0,064	0,076	0,079	0,072
junij	0,062	0,074	0,076	0,076
julij	0,063	0,077	0,084	0,080
avgust	0,063	0,077	0,084	0,080
september	0,070	0,082	0,091	0,095
oktober	0,063	0,076	0,086	0,079
november	0,066	0,082	0,085	0,082
december	0,070	0,080	0,089	0,084
skupaj 2013	0,792	0,924	1,011	0,967

Tabela M11: Meritev depozita – in-situ (18.9.2013 na zahodni strani reaktorja)

Oznaka: 2.10IS

Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m ²]
K-40	284 ± 58	-
Cs-137	27,1 ± 5,7	1,00 ± 0,21
Ra-226	32,0 ± 6,9	-
Ra-228	31,4 ± 6,5	-
Th-228	30,5 ± 6,2	-

Tabela M12: Meritev filtra zračnih delcev v okolici reaktorja (18.9.2013 na zahodni strani reaktorja)

Oznaka: 2.12G

Datum vzorčenja	V [m ³]	Aktivnost [Bq]
18.9.13	20	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.


Tabela M13: Meritve primarne vode reaktorja v letu 2013

Oznaka: 3.1G

Datum	P _{reakt.} [kW]	Na-24 [Bq/kg]	Ar-41 [Bq/kg]	Cr-51 [Bq/kg]	Mn-56 [Bq/kg]	Co-58 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	Sb-124 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
07.01.2013	0	5,99 ± 1,41	648 ± 64	-	31,6 ± 6,2	-	-	-	-	-
14.01.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.01.2013	0	5,20 ± 1,35	-	-	-	-	1,68 ± 0,73	-	-	-
28.01.2013	3	12,9 ± 2,0	64,3 ± 7,0	-	-	2,83 ± 1,02	-	-	-	6,58 ± 3,18
04.02.2013	250	355 ± 34	26100 ± 2400	-	1430 ± 107	-	6,36 ± 3,26	-	-	111 ± 18
11.02.2013	0	19,5 ± 2,8	-	12,9 ± 5,5	-	5,75 ± 1,15	6,47 ± 1,60	7,73 ± 1,52	-	9,09 ± 3,24
18.02.2013	0	15,6 ± 2,4	-	21,1 ± 7,7	-	-	5,23 ± 1,42	3,82 ± 1,17	1,13 ± 0,38	11,5 ± 2,6
25.02.2013	0	40,6 ± 4,7	-	16,3 ± 6,7	-	-	9,25 ± 1,95	5,53 ± 1,45	-	24,6 ± 3,5
04.03.2013	0	8,36 ± 1,44	-	10,8 ± 5,2	-	4,09 ± 1,01	3,04 ± 1,01	-	-	7,53 ± 2,93
11.03.2013	0	-	-	10,8 ± 6,5	-	-	-	-	-	-
18.03.2013	0	97,7 ± 10,0	-	38,4 ± 7,9	-	6,61 ± 1,36	10,0 ± 2,2	8,29 ± 1,71	-	72,2 ± 6,7
25.03.2013	0	6,50 ± 1,67	-	-	-	-	2,01 ± 0,85	-	-	-
02.04.2013	0	30,9 ± 3,7	-	10,4 ± 4,8	-	2,46 ± 0,89	6,97 ± 1,56	-	-	23,3 ± 3,2
08.04.2013	0	117 ± 12	-	12,7 ± 5,8	-	-	6,30 ± 1,56	-	-	62,4 ± 5,9
15.04.2013	0	-	-	21,4 ± 6,2	-	3,63 ± 1,08	-	-	1,41 ± 0,65	-
22.04.2013	0	47,0 ± 5,4	-	-	-	-	5,76 ± 1,57	-	-	24,4 ± 3,5
29.04.2013	0	28,0 ± 3,5	-	19,9 ± 6,7	-	-	2,40 ± 0,72	-	-	22,3 ± 3,1
06.05.2013	250	273 ± 26	15600 ± 1440	-	1250 ± 94	-	-	-	-	215 ± 19
07.05.2013	0	362 ± 35	-	-	-	-	12,1 ± 2,6	3,98 ± 1,59	-	140 ± 12
13.05.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.05.2013	0	-	-	8,48 ± 4,74	-	1,73 ± 0,74	-	-	-	-
27.05.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.06.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.06.2013	0	-	-	-	-	-	4,26 ± 1,05	-	-	-
17.06.2013	0	11,0 ± 1,9	-	-	-	2,76 ± 0,78	4,25 ± 1,13	4,90 ± 1,17	-	13,0 ± 2,8
24.06.2013	0	4,25 ± 1,31	-	-	-	-	-	-	-	-
01.07.2013	0	30,8 ± 4,0	-	-	-	-	7,48 ± 1,61	1,65 ± 1,03	-	17,5 ± 3,0
08.07.2013	0	38,6 ± 4,4	-	-	-	-	8,71 ± 1,94	3,57 ± 1,06	-	17,1 ± 3,6
15.07.2013	0	31,9 ± 4,1	-	-	-	-	10,3 ± 2,1	-	-	17,7 ± 2,7
22.07.2013	0	11,2 ± 2,3	-	16,2 ± 5,4	-	2,17 ± 0,83	-	-	-	10,2 ± 2,7
29.07.2013	0	6,01 ± 1,44	-	-	-	-	6,37 ± 1,47	-	-	-
05.08.2013	0	40,8 ± 4,7	-	22,0 ± 6,9	-	2,42 ± 0,95	9,00 ± 1,93	3,68 ± 1,18	-	21,5 ± 3,4
12.08.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.08.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.08.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02.09.2013	0	-	-	-	-	-	5,12 ± 1,13	-	-	-
09.09.2013	0	-	-	8,29 ± 4,16	-	-	-	-	-	-
16.09.2013	0	25,3 ± 3,7	-	-	-	-	-	-	-	10,8 ± 6
23.09.2013	0	15,5 ± 2,8	-	-	-	-	-	-	-	-
30.09.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.10.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.10.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.10.2013	0	3,89 ± 1,67	-	-	-	-	-	-	-	-
28.10.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04.11.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.11.2013	0	55,8 ± 6,2	5070 ± 470	-	311 ± 26	-	-	-	-	18,8 ± 5,7
18.11.2013	0	6,92 ± 1,73	-	-	-	-	7,07 ± 2,01	-	-	-
25.11.2013	0	7,75 ± 1,87	-	-	-	-	4,85 ± 1,08	-	-	-
29.11.2013	0	94,9 ± 9,6	-	-	-	-	3,18 ± 1,01	1,93 ± 1,16	-	14,9 ± 2,8
09.12.2013	0	160 ± 16	-	18,6 ± 5,8	-	3,8 ± 1,1	13,8 ± 2,8	9,15 ± 1,77	-	45,2 ± 5
16.12.2013	0	68,9 ± 7,3	-	16,5 ± 6,1	-	-	6,89 ± 1,63	4,12 ± 1,2	-	18,6 ± 2,9
23.12.2013	0	30,6 ± 3,7	-	16,4 ± 6,1	-	2,21 ± 0,86	4,08 ± 0,92	-	-	10,9 ± 2,4
30.12.2013	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Tabela M14: Meritve sekundarne vode reaktorja v letu 2013

Oznaka: 3.2G

Datum vzorčenja	Aktivnost [Bq/kg]
09.01.2013	-
14.02.2013	-
13.03.2013	-
16.04.2013	-
20.05.2013	-
05.06.2013	-
04.07.2013	-
01.08.2013	-
13.09.2013	-
05.11.2013	-
05.12.2013	-

Opomba: V vzorcih ni bil zaznan noben umetni radionuklid.

Tabela M15: Meritve vode iz bazena za iztrošene gorivne elemente v letu 2013

Oznaka: 3.3G

Datum vzorčenja	pH	Aktivnost Cs-137 [Bq/kg]
07.01.2013	6,0	-
11.02.2013	6,0	-
06.03.2013	5,5	-
04.04.2013	6,0	-
08.05.2013	6,0	-
10.06.2013	5,5	-
02.07.2013	6,0	-
02.08.2013	6,0	-
04.09.2013	5,5	-
09.10.2013	6,0	-
12.11.2013	6,0	2,25 ± 0,96
04.12.2013	6,0	-



5.3 Enote in nazivi količin

V tabelah uporabljamo enote in oznake, ki naj bi najbolj neposredno omogočale izračun obremenitve človeka in so v skladu z zakonodajnimi podatki.

5.3.1 Voda

Aktivnost poročamo v Bq/kg.

5.3.2 Zemlja

Aktivnost poročamo v Bq/kg osušene zemlje ali kot depozit v Bq/m² za umetne radionuklide v primeru in-situ spektrometrije gama.

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 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.

5.4.2 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.

5.4.3 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.



5.5 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 detektorja d0 (CANBERRA) in d1 (ORTEC).

MEDIJ	Voda		Zrak		Zemlja	
Velikost vzorca	240 mL		200 m ³		240 mL	
Enota	[Bq/kg]		[Bq]		[Bq/kg]	
Detektor	d0	d1	d0	d1	d0	d1
Na-24	2,42	3,23	0,20	0,55	2,06	5,39
Ar-41	3,45	13,5	0,29	0,81	3,49	9,96
Cr-51	12,9	37,6	0,86	2,12	14,1	3,36
Mn-54	2,09	5,91	0,16	0,42	2,02	5,66
Co-58	2,06	6,02	0,15	0,40	1,93	5,15
Co-60	2,28	7,67	0,20	0,61	1,99	6,24
Zn-65	5,42	14,1	0,41	1,02	5,70	14,4
I-131	1,73	4,63	0,11	0,28	1,72	4,34
Cs-137	2,26	6,17	0,15	0,41	1,71	4,30
K-40	41,0	104	3,50	7,64	29,8	96,4
Ra-226	2,93	11,4	0,26	0,63	3,84	7,94
Ra-228	8,42	15,9	0,70	1,77	7,53	16,7
Th-228	2,68	4,61	0,17	0,40	2,39	7,07
U-238	18,1	51,4	1,03	2,55	20,8	42,3

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

V letu 2013 smo sodelovali v dveh mednarodnih primerjalnih meritvah. Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIŠ za meritve.

5.6.1 The IAEA-TEL-2012-03 World-wide Proficiency Test on the determination of radionuclides in soil, hay and water 2012

Meritve umetnih radionuklidov v vodnih vzorcih

Vzorec 1

Izotop	A [Bq/kg]		Relativno odstopanje	P	Točnost	Natančnost
	SVPIŠ	IAEA				
Cs-134	74,0 ± 4,7	82,6 ± 0,71	-10,4%	-6,4%	Ustreza	Ustreza
Eu-152	109 ± 7	118,6 ± 1,0	-8,1%	6,5%	Ustreza	Ustreza


Vzorec 2

Izotop	A [Bq/kg]		Relativno odstopanje	P	Natančnost	Odstopanje
	SVPIS	IAEA				
Cs-137	100 ± 8	102,5 ± 0,75	2,4%	8,0%	Ustreza	Ustreza
Am-241	124 ± 14	120,9 ± 0,74	2,6%	-11,3%	Ustreza	Ustreza

Največje sprejemljivo relativno odstopanje je 15% razen za Am-241 v drugem vzorcu, kjer je 20%. Točnost rezultata ustreza, če je relativno odstopanje manjše od največjega sprejemljivega relativnega odstopanja. Natančnost rezultata ustreza, če je relativno odstopanje $< 2,56 \cdot P$ in hkrati $P < \text{največjega sprejemljivega relativnega odstopanja}$, kjer je $P = \sqrt{(u_{IAEA}^2/A_{IAEA}^2 + u_{SVPIS}^2/A_{SVPIS}^2)}$.

Tako točnost kot natančnost vseh meritev je bila dobra.

5.6.2 NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2013

Meritve umetnih radionuklidov v vodnih vzorcih

Izotop	A [Bq/g]		u-test	Ustreznost
	SVPIS	NPL		
Co-60	10,5 ± 0,6	11,06 ± 0,02	0,83	Ustreza
Ba-133	12,9 ± 0,8	12,98 ± 0,06	0,05	Ustreza
Cs-134	1,8 ± 0,1	1,915 ± 0,003	1,02	Ustreza
Cs-137	8,1 ± 0,6	8,095 ± 0,015	0,03	Ustreza

Meritve umetnih radionuklidov v peščeni zemlji

Izotop	A [Bq/g]		u-test	Ustreznost
	SVPIS	NPL		
Cs-137	0,9 ± 0,2	0,80 ± 0,06	0,47	Ustreza
Am-241	1,3 ± 0,3	1,35 ± 0,11	0,14	Ustreza

Meritve umetnih radionuklidov v šoti

Izotop	A [Bq/g]		u-test	Ustreznost
	SVPIS	NPL		
Cs-137	2,7 ± 0,6	2,713 ± 0,117	0,02	Ustreza
Am-241	4,3 ± 1,0	4,35 ± 0,19	0,05	Ustreza

Uradni rezultati NPL primerjalne meritve še niso znani, znane so le informativne vrednosti, ki smo jih z u-testom primerjali z našimi izmerjenimi vrednostmi. Kriterij sprejemljivosti je $u < 1,96$. Poročali smo le rezultate za vodni vzorec, vzorec peščene zemlje in šote pa nam je za analizo posodil Odsek za znanosti o okolju, IJS, tako da smo jih lahko analizirali, nismo pa poročali rezultatov.