

IJS delovno poročilo  
IJS-DP-11218  
Ljubljana, februar 2013

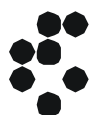
# MERITVE RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI REAKTORSKEGA CENTRA IJS

## **POROČILO ZA LETO 2012**



Leto izdaje: 2013      Revizija: 00

	Ime in priimek	Datum	Podpis
Izdelala	dr. Tinkara Bučar	15.2.2013	
Pregledal in odobril	mag. Matjaž Stepišnik	15.2.2013	





*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 2012

*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-11218

*Kopije:* Arhiv SVPIS  
RIC  
URSJV  
URSVS  
Knjižnica IJS

*Slika na naslovni strani:* Pogled na reaktorski center s severozahodne strani



**NASLOV POROČILA:**

Meritve radioaktivnosti v okolici Reaktorskega centra IJS  
Poročilo za leto 2012  
*T. Bučar*

februar 2013

**KLJUČNE BESEDE:**

Radioaktivnost v okolju, naravno sevanje, zunanje sevanje, emisije, imisije

**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 0,5  $\mu\text{Sv}$  na leto za atmosferske in manj kot 0,01  $\mu\text{Sv}$  na leto za tekočinske izpuste.

---

**REPORT TITLE:**

Environmental Radiation Monitoring of Reactor Centre  
Report for the year 2012  
*T. Bučar*

February 2013

**KEYWORDS:**

environmental radiation, natural radiation, external radiation, emissions, imissions

**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 0.5  $\mu\text{Sv}$  per year for atmospheric discharges and less than 0.01  $\mu\text{Sv}$  per year due to liquid discharges.



VSEBINA

<b>1</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OVREDNOTENJE MERITEV .....</b>	<b>5</b>
2.1	PROGRAM A: MERITVE V OKOLJU .....	5
2.1.1	<i>Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev .....</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Obravnava rezultatov.....</i>	<i>6</i>
2.2	PROGRAM B: EMISIJE .....	8
2.2.1	<i>Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev .....</i>	<i>8</i>
2.2.2	<i>Obravnava rezultatov.....</i>	<i>9</i>
2.3	PROGRAM C: VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI .....	10
2.3.1	<i>Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev .....</i>	<i>10</i>
2.3.2	<i>Obravnava rezultatov.....</i>	<i>10</i>
<b>3</b>	<b>OCENA VPLIVOV .....</b>	<b>12</b>
3.1	ATMOSFERSKI IZPUSTI .....	12
3.1.1	<i>Ocena prejete efektivne doze zaradi atmosferskih izpustov.....</i>	<i>13</i>
3.2	TEKOČINSKI IZPUSTI .....	14
3.2.1	<i>Ocena prejetih efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov.....</i>	<i>14</i>
<b>4</b>	<b>MERSKI REZULTATI .....</b>	<b>16</b>
4.1	PROGRAM NADZORNIH MERITEV SEVANJA V OKOLICI RC IJS .....	16
4.2	TABELE IN SLIKE .....	17
4.3	ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN .....	27
4.3.1	<i>Voda .....</i>	<i>27</i>
4.3.2	<i>Zemlja.....</i>	<i>27</i>
4.3.3	<i>Zrak.....</i>	<i>27</i>
4.3.4	<i>Zunanja doza.....</i>	<i>27</i>
4.4	MERSKE METODE .....	27
4.4.1	<i>Termoluminiscenčna dozimetrija .....</i>	<i>27</i>
4.4.2	<i>Visokoločljivostna spektrometrija gama .....</i>	<i>27</i>
4.5	ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VLG SPEKTROMETRIJO .....	27
4.6	PRIMERJALNE MERITVE.....	28
4.6.1	<i>The IAEA-TEL-2011-03 World-wide Proficiency Test on the determination of natural and artificial radionuclides in water and soil, 2011 .....</i>	<i>28</i>
4.6.2	<i>NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2011 .....</i>	<i>29</i>



## 1 POVZETEK

Poročilo obravnava rezultate meritev, ki so bile v letu 2012 opravljene po "Programu nadzornih meritev sevanja v okolici Reaktorskega centra IJS". Program je določen v odločbi Uprave RS za jedrsko varnost št. 391-01/00-5-26546/MK z dne 10.11.2000. Avtorizirana mejna doza za prebivalce iz referenčne skupine iz odločbe URSJV št. 318-46/90-1842/ML z dne 3.7.1992 je 50  $\mu\text{Sv}$  na leto.

Nadzorni program sestavljajo trije sklopi:

- A meritve v okolju (imisije),
- B meritve izpustov (emisije),
- C vzdrževanje pripravljenosti.

Meritve v okviru **sklopa A** 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.

Z meritvami po **sklopu B** ocenjujemo prispevek dejavnosti na Reaktorskem centru k izpostavitvi prebivalstva sevanju. Zaradi neznatnih vplivov je ocena narejena na podlagi emisijskih vrednosti in z uporabo modelov razširjanja radioaktivnih snovi po atmosferski in tekočinski prenosni poti.

**Sklop C** predstavlja meritve tekočin za nadzor nad kvaliteto gorivnih elementov in meritve kontaminacije v sklopu vzdrževanja pripravljenosti sodelavcev SVPIS in članov Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (Mobilni radiološki laboratorij). Meritve hkrati dajejo osnovno sliko o ničelnem stanju nekaterih radioloških parametrov na območju Reaktorskega centra in v bližnji okolici.

Nadzorni program temelji na dejavnostih, ki so povezane z Institutom Jožef Stefan in ne vključuje dodatnih meritev, ki so potrebne 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 0,5  $\mu\text{Sv}$ , enako kot v letu 2011.**

**Ingestijska efektivna doza zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo je bila konservativno ocenjena na manj kot 0,01  $\mu\text{Sv}$  na leto, enako kot v letu 2011.**

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

**Sevalna izpostavitve prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega 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  $\mu\text{Sv}$  na leto.**

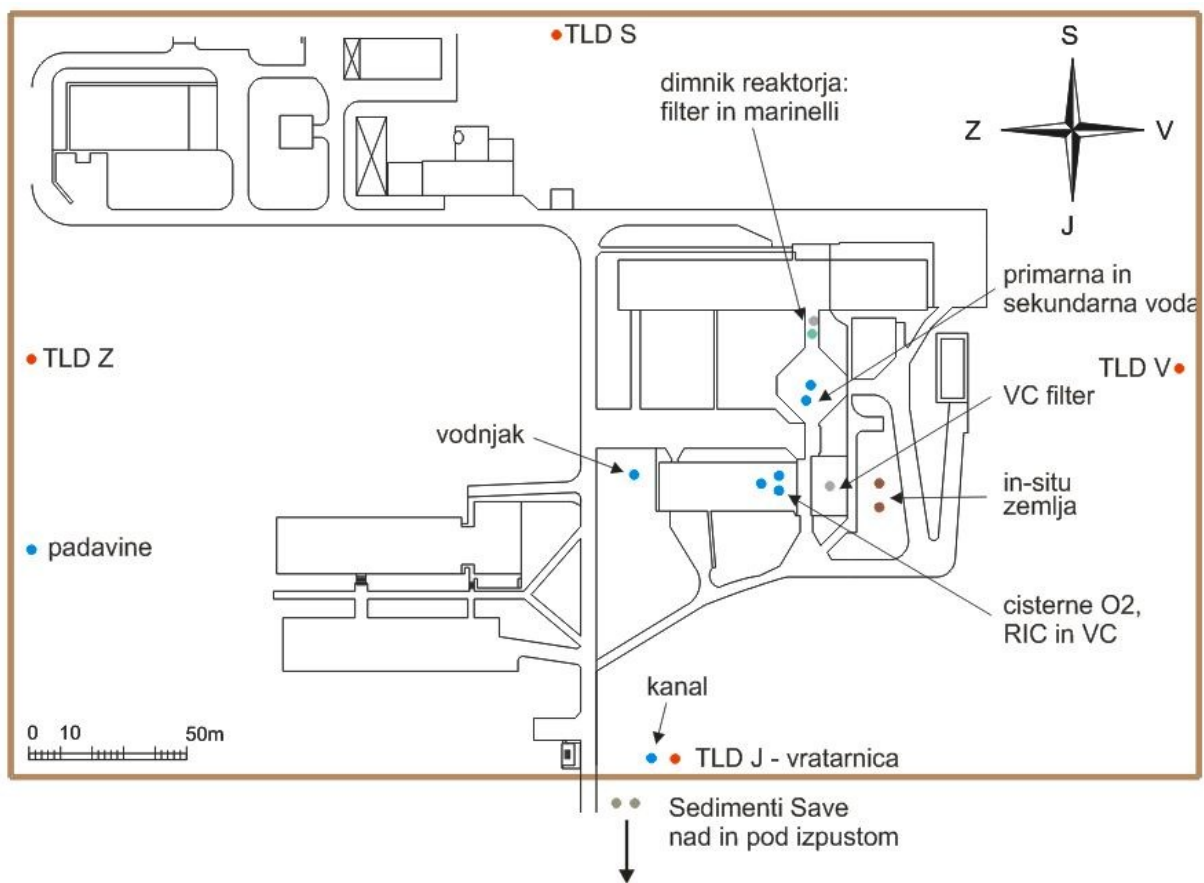


## 2 OVREDNOTENJE MERITEV

### 2.1 Program A: Meritve v okolju

#### 2.1.1 Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev

Program obsega meritve tekočin, savskih sedimentov, zgornjih plasti zemlje in zunanjšega sevanja (na štirih točkah) ter je predstavljen v poglavju Merski rezultati (Poglavje 4). Večina merilnih mest je znotraj RC, vzorčenje savskega sedimenta pa se izvaja izven ograje RC na izpustnem kanalu tekočinskih odplak v reko Savo. Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1.



**Slika 1: Vzorčevalne lokacije na Rektorskem centru**

Vzorčenje tekočinskih vzorcev, zemlje in sedimentov ter zraka je potekalo po internem postopku *Vzorčenje in meritve vzorcev za ocenjevanje vpliva Rektorskega centra na okolje SVPIŠ-R-DN-31*. Koncentracije sevalcev gama v vzorcih so bile izmerjene z visokoločljivostno spektrometrijo gama po internem postopku *Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama ELME-DN-17*. Meritve so potekale po enaki metodologiji kot v preteklih letih.

Meritve doze zunanjšega sevanja TLD so opravili sodelavci Laboratorija za termoluminiscenčno dozimetrijo, ki deluje v okviru Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij na IJS.

Metodi meritve tekočinskih vzorcev, zemeljskih vzorcev in filtrov s spektrometrijo gama ter



meritve doze zunanjega sevanja TLD sta akreditirani skladno s standardom *SIST EN ISO/IEC 17025:2005* pri Slovenski akreditaciji. Številka akreditacijske listine je *LP-022*.

## 2.1.2 Obravnava rezultatov

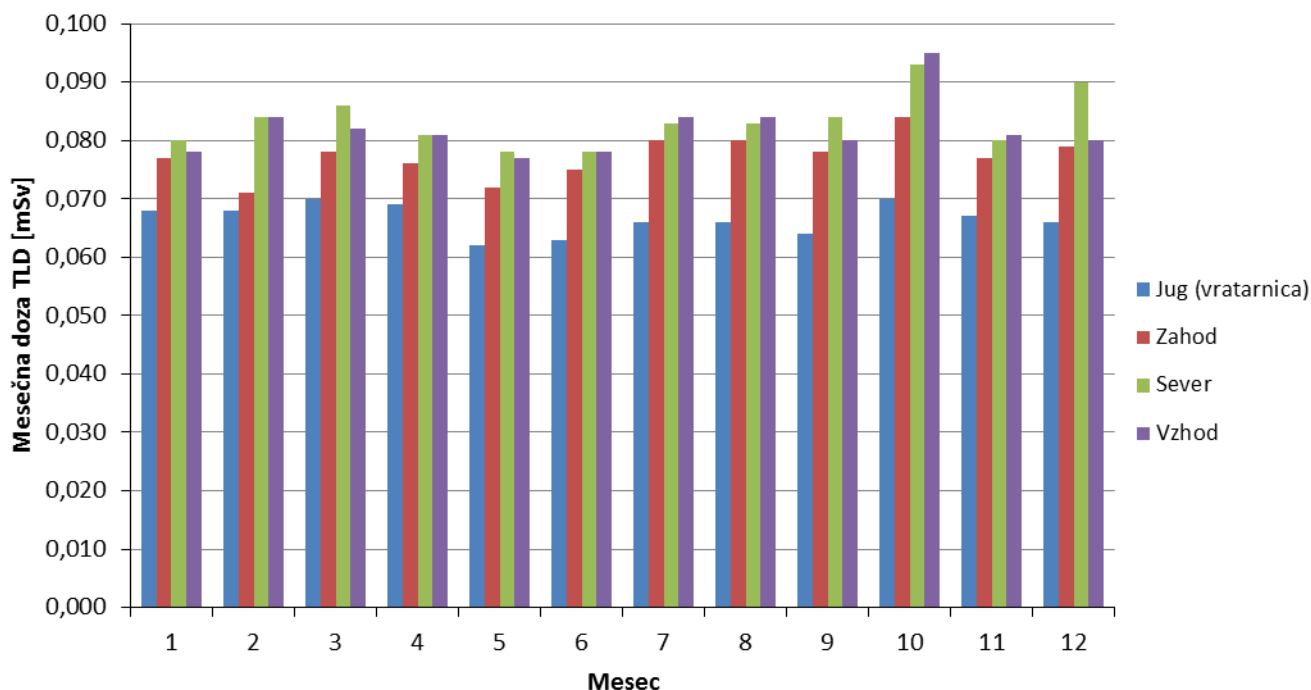
### Zunanje sevanje

Meritev zunanjega sevanja z dozimetri TLD poteka na štirih točkah znotraj ograje Reaktorskega centra. Dozimetri pokrivajo štiri osnovne smeri neba, izvajanje na posameznih točkah pa se je začelo v različnih obdobjih (tabela 1). Na vzhodni merilni točki (TLD-vzhod) poteka tudi kontinuirna meritev hitrosti doze z Geiger-Muellerjevim detektorjem Berthold LB111.

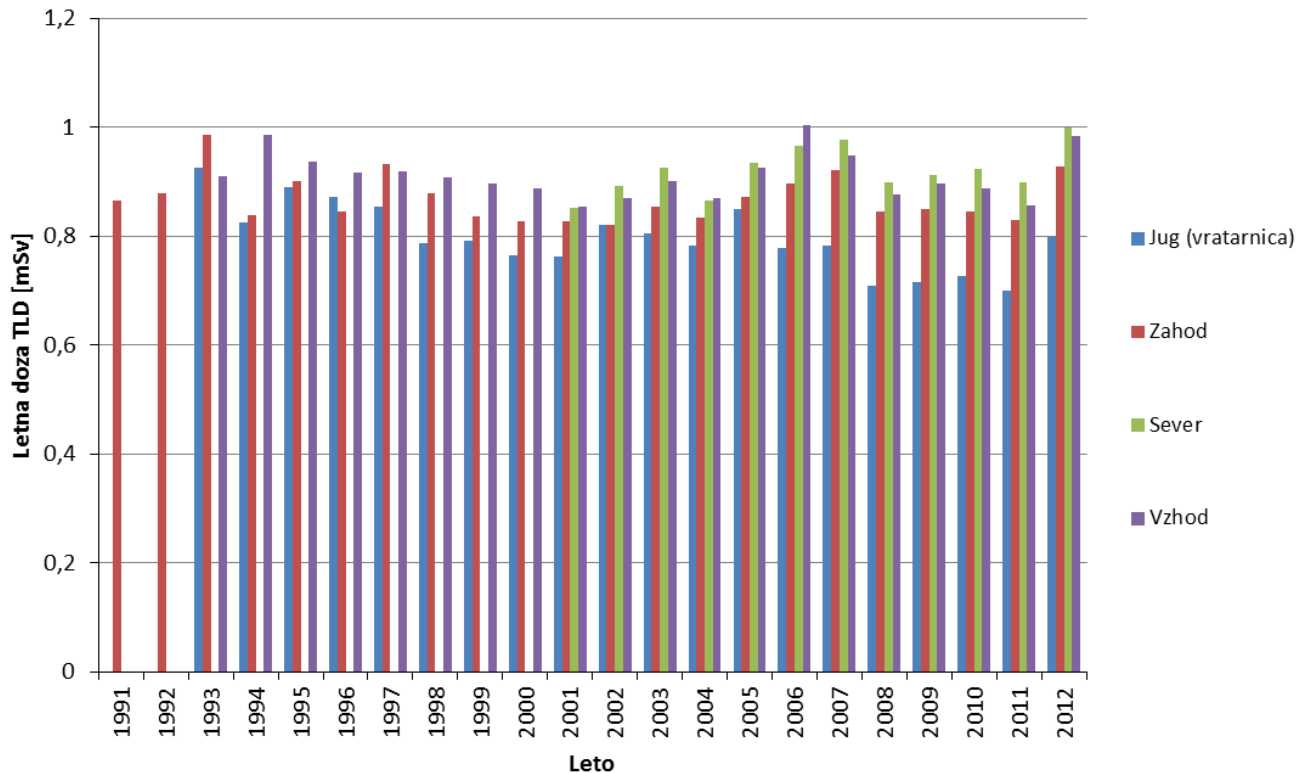
**Tabela 1: Merilna mesta za merjenje zunanjega sevanja s TLD**

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)

Mesečne doze TLD na merilnih točkah za leto 2012 so na sliki 2 in v tabeli M4, letne doze za celotno obdobje opravljanja meritev pa na sliki 3. 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 2: Mesečne doze TLD na merilnih točkah v letu 2012**  
(Oznaka meritev: A5.1-4T)

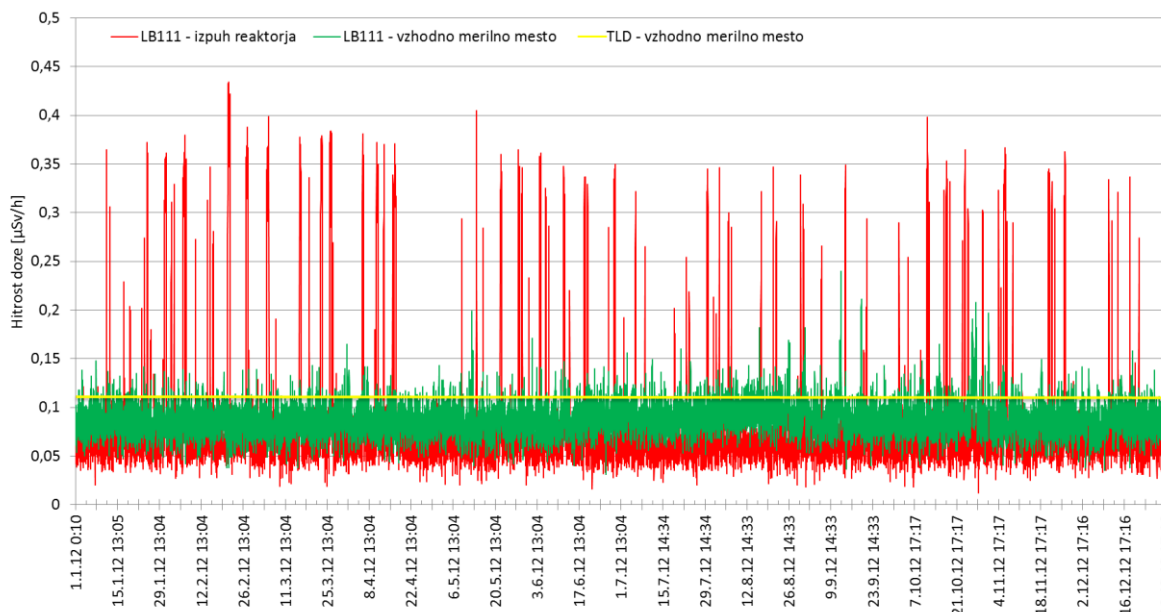


**Slika 3: Letne doze TLD na merilnih točkah v obdobju 1991 – 2012**

Na sliki 4 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 povzroča žlahtni plin Ar-41, kar je razvidno tudi iz primerjave letnih doz na vzhodni kontrolni točki (tabela M4) in na izpuhu iz reaktorja (tabela M10).
- 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 4 lahko razberemo, da je zunanje sevanje takrat, ko reaktor ne obratuje, na izpuhu reaktorja nižje kot na kontrolni točki. Merilnik na travniku je namreč izpostavljen višjemu naravnemu sevanju kot tisti na izpuhu.





**Slika 4: Hitrost doze na vzhodni merilni točki in na izpuhu v letu 2012 (kontinuirni merilnik Berthold LB111 in TLD)**

### **Vzorci iz okolja**

Vzorčenje vode iz vodnjaka poteka v neposredni bližini stavbe odseka O2 (slika 1). Rezultati meritev so podani v tabeli M1. 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.

Meritve vzorcev sedimenta reke Save (tabela M2) z lokacij nad izpustom in pod njim kažejo prisotnost naravnih radionuklidov v običajnih koncentracijah za sedimente. V vzorcu razen Cs-137 nismo zaznali umetnih radionuklidov. Izmerjena koncentracija Cs-137 ni presegla 2,2 Bq/kg.

Vzorčili smo tudi zemljo na travniku na zahodni strani reaktorja (tabela M3). Vzorčenje smo izvedli s pomočjo "corerja" in naredili analizo za tri globine. Vsebnosti naravnih radionuklidov so značilne za običajno zemljo. Izmerjena aktivnost cezija v zgornji plasti ( $111 \pm 9$  Bq/kg) je bila nekoliko višja kot običajno (okoli 50 Bq/kg) in je verjetno posledica neenakomerne porazdelitve černobilske kontaminacije. V splošnem so vsebnosti cezija v zemlji višje kot v sedimentu, kjer prihaja do izrazitega spiranja.

## **2.2 Program B: Emisije**

### **2.2.1 Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev**

Program spremljanja emisij temelji na meritvah tekočinskih in atmosferskih izpustov na izpustnih mestih.

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 v zadnjih letih suha in v njej ni tekočin, ki bi jih lahko merili oziroma izpuščali.



Pri atmosferski prenosni poti je najpomembnejše izpušcanje 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). Radiološko je razmeroma nepomemben, saj kot žlahtni plin ni nevaren pri inhalaciji. Na samem izpustnem mestu z zračno črpalko lovimo zračne delce, enkrat mesečno pa odvezamemo trenutni plinski vzorec (marinelli). Na izpuhu reaktorja je še TLD, katerega doza je korelirana z obratovanjem reaktorja. Na istem mestu je tudi kontinuirni merilnik sevanja, ki je del nadzornega sistema samega reaktorja.

## 2.2.2 Obravnava rezultatov

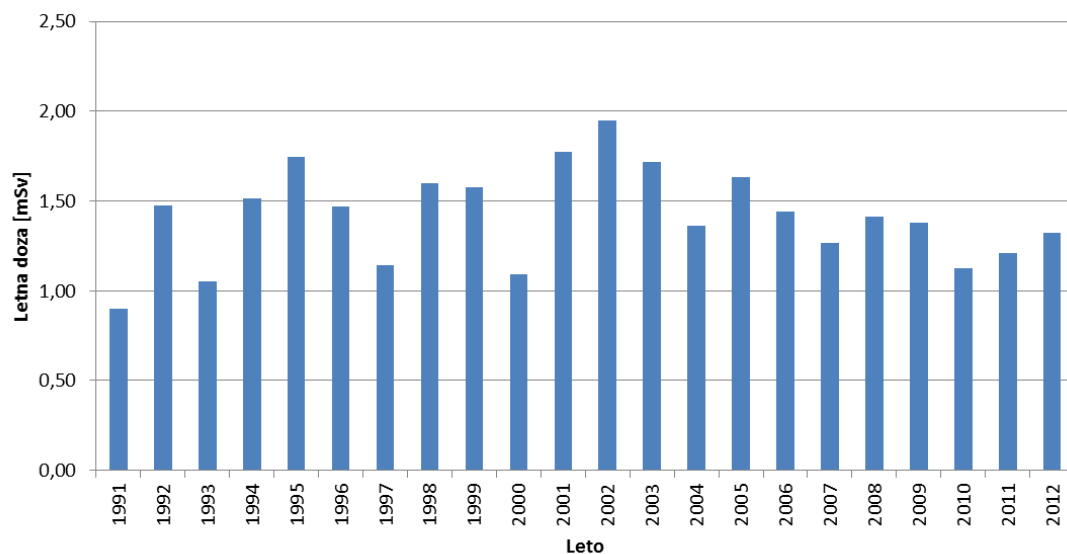
### *Tekočinski izpusti*

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 letošnjih meritev so združeni v tabeli M5 in kažejo, da nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov v tej cisterni. Tudi v cisterni drenaže reaktorja nismo zaznali prisotnosti umetnih radionuklidov (tabela M6). Cisterna reaktorja je bila v letu 2012 izčrpana enajstkrat, od tega kar trikrat v mesecu juliju, saj je prišlo do puščanja čiste vode iz klimatske naprave z iztokom v cisterno reaktorja. Tekočine iz zadrževalne cisterne drenaže OVC nismo merili, saj je bila cisterna celo leto suha.

### *Meritve na izpuhu iz reaktorja*

Na filtrih zračnih delcev ni bilo zaznani umetnih radionuklidov (tabela M8), medtem ko je bila vsebnost Ar-41 ob delujočem reaktorju v povprečju  $80 \text{ kBq/m}^3$  (tabela M7), kar je enako kot v preteklosti.

Meritve zunanjega sevanja s TLD na izpuhu reaktorja TRIGA, ki je povečano zaradi radioaktivnega plina Ar-41, so za obdobje 1991-2012 prikazane na sliki 5. 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 letošnje leto je bila skupna letna doza TLD 1,3 mSv in je na sliki MS1 razčlenjena po posameznih mesecih.



**Slika 5: Letne doze TLD na izpuhu iz reaktorja za obdobje 1991 – 2012**



## 2.3 Program C: Vzdrževanje pripravljenosti

### 2.3.1 Značilnosti vzorčevalnih mest in meritev

Program C predstavlja vzdrževanje pripravljenosti in po vsebini obsega dva sklopa meritev.

V prvega (C1.1-3G) sodijo laboratorijske VLG analize tekočin. To so vzorci vode iz bazena reaktorja, iz sekundarnega kroga reaktorja ter iz novega bazena za iztrošene gorivne elemente. Stari bazen ni več v uporabi in je suh, v novem pa po letu 2001 ni bilo gorivnih elementov. S temi meritvami preverjamo inventar in trende ali nenadne spremembe tega inventarja neposredno na viru. Morebitno odstopanja rezultatov meritev od običajnih vrednosti bi bila prva indikacija puščanja goriva, zaradi česar bi uvedli podrobnejšo preiskavo vzrokov in potencialnih posledic za okolje.

Vzorčevanje in meritve tekočinskih vzorcev potekajo po istih postopkih kot je opisano v poglavju Program A: Meritve v okolju.

Drugi sklop programa (C2.1IS in C2.1IC) obsega terenske meritve in-situ spektrometrije gama in hitrosti doze v območju znotraj ograje Reaktorskega centra in v njegovi okolici (slika 6). Z njimi ugotavljamo ničelno stanje v bližnji okolici, kar je bistveno za vrednotenje sprememb ob morebitnih izrednih dogodkih znotraj RC ali pri zunanjih dogodkih, ki bi vplivali na radiološke razmere na območju RC.



**Slika 6: In-situ spektrometrija gama na zahodni strani reaktorja v okviru vaje in primerjalnih meritev med tremi različnimi laboratoriji, 18.10.2012**

Od leta 2006 za in-situ spektrometrijo gama uporabljamo prenosni germanijev spektrometer ISOCS, ki omogoča boljše ločevanje med posameznimi izotopi kot NaI, ki smo ga uporabljali pred tem (C2.IS). Hitrost doze v okolici RC in znotraj ograje smo merili s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H (C2.2IC).

In-situ spektrometrija gama poteka po internem postopku *Laboratorijske in terenske meritve s spektrometrijo gama ELME-DN-17*, meritve hitrosti doze pa so potekale po internem postopku *Meritve hitrosti doze z uporabo prenosnih merilnikov ELME-DN-04*.

### 2.3.2 Obravnava rezultatov

Pri tekočinskih vzorcih v primerjavi z meritvami v preteklosti ni opaziti posebnosti (tabele M11, M12, M13). Iz rezultatov meritev primarne vode je razvidno, da je gorivo



nepoškodovano, saj v primarni vodi ni zaznati prisotnosti fisijskih produktov. Koncentracije kratkoživih aktivacijskih produktov v primarni vodi so običajne. Skupna specifična aktivnost sevalcev gama je tako nekaj dni po zaustavitvi reaktorja okrog  $100 \text{ kBq/m}^3$ .

Terenske meritve in-situ spektrometrije gama in hitrosti doze niso pokazale vpliva delovanja objektov IJS znotraj Reaktorskega centra niti na ožjo okolico (tabela M14, slike MS2, MS3). Izmerjene hitrosti doze v okoliških vaseh so primerljive z nivoji sevanja drugod po Sloveniji.



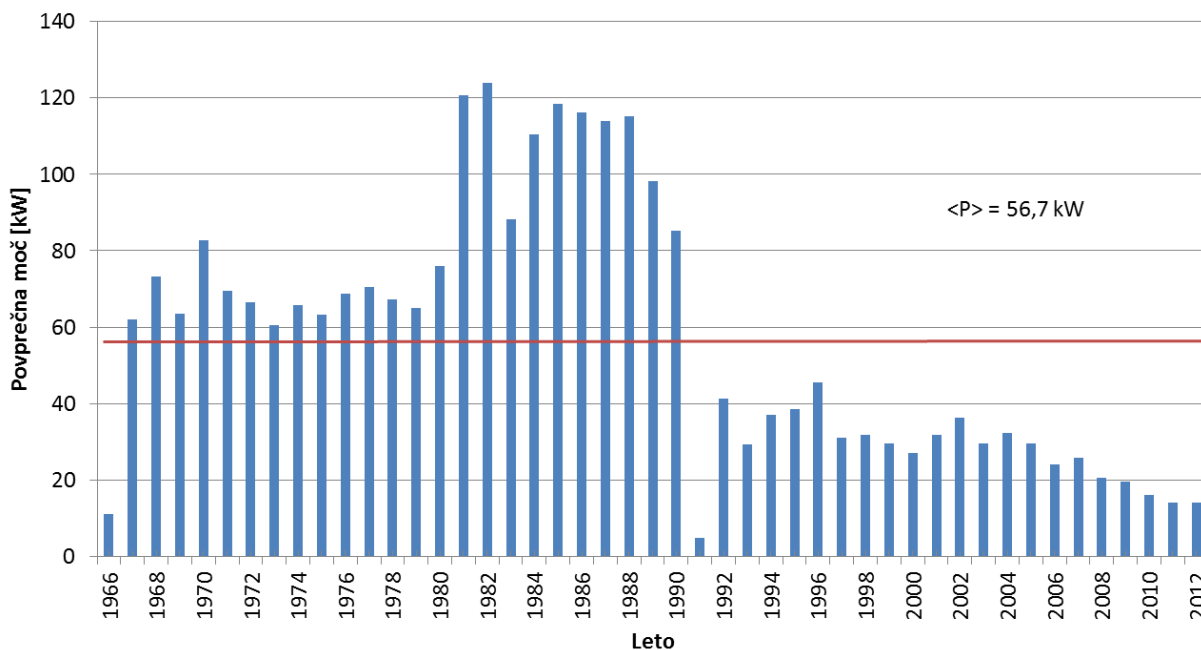
### 3 OCENA VPLIVOV

Neposredne meritve v okolju (program A) ne kažejo na zaznaven sevalni vpliv Reaktorskega centra. Zaradi tega je možna le posredna ocena izpostavitve prebivalstva na podlagi emisijskih meritev (program B) in modelov. V letošnjem letu je k izpostavitvi prispevala le zunanja izpostavitvev zaradi atmosferskih izpustov Ar-41 (imerzija). Izpostavitvev zaradi tekočinskih izpustov je bila nemerljiva.

#### 3.1 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  $100 \text{ kBq/m}^3$  pri moči reaktorja 250 kW (tabela M7).

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  $100 \text{ kBq/m}^3$ , kar pri danem pretoku pomeni hitrost izpuščanja Ar-41  $0,5 \text{ MBq/s}$ . V letu 2012 je bila povprečna moč reaktorja 14,1 kW (slika 7) in ocena za povprečno hitrost izpuščanja (Q)  $28 \text{ kBq/s}$  ter s tem letna količina izpuščenega Ar-41  $0,9 \text{ TBq}$ .



**Slika 7: Povprečna obratovalna moč reaktorja TRIGA v obdobju 1966-2012**

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  $1 \text{ m/s}$ .

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 28 kBq/s.**

<b>Oddaljenost od vira [m]:</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
disperzijski faktor ( $v \chi/Q$ ) razred D ( $m^2$ )	1,0E-2	5,0E-4
$\chi$ – koncentracija [ $Bq/m^3$ ]	282	14
disperzijski faktor ( $v \chi/Q$ ) razred E ( $m^2$ )	2,0E-2	1,0E-3
$\chi$ – koncentracija [ $Bq/m^3$ ]	564	28

### 3.1.1 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  $\sigma_y$  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),
- predpostavili smo, da so v ozračju polovico leta stabilnostne razmere razreda D in polovico leta stabilnostne razmere razreda E.

**Tabela 3: Deleži hitrosti doze iz oblaka z radijem  $\sigma_y$ .**

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

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

Doze so zaradi primerljivosti s prejšnjimi leti računane za najbližje naselje Pšata. Iz rože vetrov za leto 2012 (slika 8), za katero smo podatke dobili z meteorološke postaje RC, vidimo, da je veter pihal v smeri najbližjega naselja Pšata 5,4 % časa in da je bila hitrost vetra v povprečju 2,6 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 z vzhoda proti zahodu (7,9 %) in v smeri Brinja (7,3 % časa, s povprečno hitrostjo 0,43 m/s), vendar se izkaže, da je red velikosti ocenjenih doz za Brinja enak kot ga da preračun za Pšato.

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

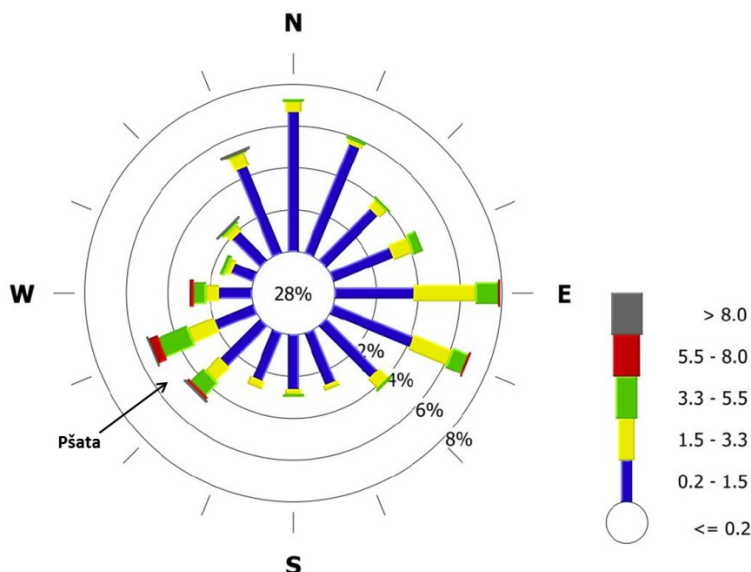
$$E_{im} = \chi \cdot D_{im}(Ar) \cdot R \cdot t \cdot d$$

kjer je:

- $\chi$  koncentracija Ar-41 v zraku,
- $D_{im}(Ar)$  dozni pretvorbeni faktor za imerzijo v polneskončnem oblaku Ar-41,
- $R$  popravek iz polneskončnega oblaka v oblak s končnim radijem  $\sigma_y$  (delež polneskončnega oblaka),



$t$  čas zadrževanja na določenem mestu,  
 $d$  delež časa, ko veter piha v določeni smeri.



**Slika 8: Roža vetrov za leto 2012, vrednosti hitrosti v legendi so v m/s, osrednji del predstavlja brezvetrje (28%)**

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

Razred stabilnosti ozračja	Oddaljenost od vira [m]	100	500
D	Hitrost doze [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	1,86 E-4	4,34 E-5
	Letna doza [ $\mu\text{Sv}$ ]	<b>0,01</b>	<b>0,38</b>
E	Hitrost doze [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	3,72 E-4	6,20 E-5
	Letna doza [ $\mu\text{Sv}$ ]	<b>0,02</b>	<b>0,54</b>
Povprečje D in E	Letna doza [ $\mu\text{Sv}$ ]	<b>0,02</b>	<b>0,46</b>

Če se človek zadržuje 65 ur/leto ob ograji Reaktorskega centra, je prejeta efektivna letna doza 0,02  $\mu\text{Sv}$ . V oddaljenosti 500 m (Pšata) je ob celoletnem zadrževanju prejeta efektivna letna doza 0,46  $\mu\text{Sv}$ . **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 ( $< 10 \mu\text{Sv}$ ).

## 3.2 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 nad detekcijsko mejo.

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

\*

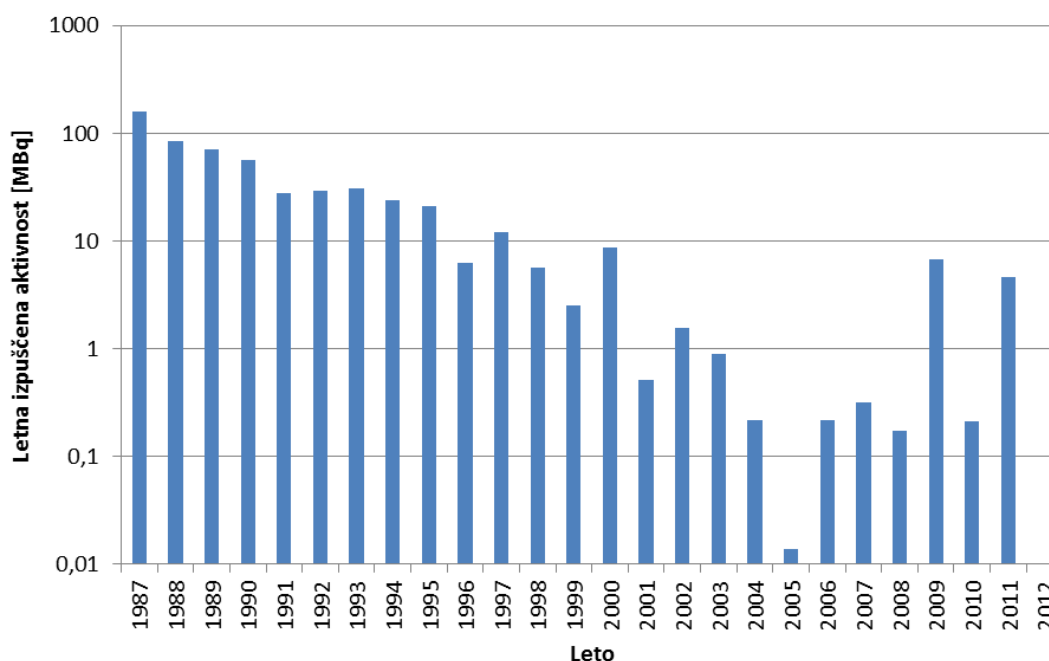
Vrednost povprečnega pretoka Save ostaja iz zgodovinskih razlogov  $58 \text{ m}^3/\text{s}$ , čeprav se številka sama iz leta v leto spreminja. Dolgoletno povprečje je več kot  $58 \text{ m}^3/\text{s}$ , zato z ohranjanjem nižje številke ostaja ocena konzervativna.

V letu 2012 prvič do sedaj (slika 9) nismo zaznali v izpustih nobenih umetnih radionuklidov nad detekcijsko mejo, zato ni bilo prejetih letnih ingestijskih doz.

**Tabela 5: Ocenjene letne doze zaradi tekočinskih izpustov**

Radionuklid	A [Bq/leto]	$D_{\text{ing}}$ [Sv/Bq]	E [nSv]
Skupaj	-	-	0

Effektivne letne ingestijske doze za leto 2012 ni.



**Slika 9: Letne izpuščene aktivnosti iz cisterne odseka O2 v obdobju 1987-2012**





## 4 MERSKI REZULTATI

### 4.1 Program nadzornih meritev sevanja v okolici RC IJS

#### A. MERITVE V OKOLJU

A1. TEKOČINE			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
A1.1	vodnjak - podtalnica	VLG	1 x mesečno
A2. SEDIMENT			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
A2.1G	Sava nad izpustom	VLG	1 x letno
A2.2G	Sava pod izpustom	VLG	1 x letno
A3. ZRAK			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
A3.1Ga	zahodna kontrolna točka	VLG	1 x mesečno
A4. TLA			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
A4.1G	zemlja 0-10 cm	VLG	1 x letno
A5. ZUNANJE SEVANJE			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
A5.1T	južna kontrolna točka KT-S (vratarnica)	TLD	menjava 1 x mesečno
A5.2T	zahodna kontrolna točka KT-W (meteorološka postaja)	TLD	menjava 1 x mesečno
A5.3T	severna kontrolna točka KT-N (ograja)	TLD	menjava 1 x mesečno
A5.4T	vzhodna kontrolna točke KT-E (TRIGA+ skladišče RAO)	TLD	menjava 1 x mesečno
A5.5GM	vzhodna kontrolna točke KT-E (TRIGA+skladišče RAO)	kontinuirne meritve hitrosti doze	kontinuirno

#### B. EMISIJE

B1. TEKOČINE			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
B1.1G	izpustna cisterna O2	VLG	1 x tedensko
B1.2G	drenaža reaktor + VC	VLG	1 x mesečno
B2. ZRAK			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
B2.1Gp	izpuh reaktorja - plini	VLG	1 x mesečno
B2.2Ga	izpuh reaktorja – zračni delci	VLG	2 x tedensko
B2.3Ga	O2	VLG	1 x tedensko
B2.4Ga	vročje celice	VLG	1 x tedensko
B3. ZUNANJE SEVANJE			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
B3.1T	izpuh reaktorja	TLD	menjava 1 x mesečno

#### C. VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

C1. TEKOČINE			
oznaka	vzorčevalno mesto	metoda	pogostost
C1.1G	primarna voda	VLG	1 x tedensko
C1.2G	sekundarna voda	VLG	1 x mesečno
C1.3G	bazen z gorivnimi elementi	VLG	1 x mesečno
C2. MERITVE KONTAMINACIJE			
Oznaka	merilno mesto	metoda	pogostost
C2.1IS	znotraj ograje RC	in-situ spektrometrija gama	1 x letno
C2.2IC	krožna pot znotraj ograje	kontinuirne meritve hitrosti doze	1 x letno



## 4.2 Tabele in slike

### *Pregled tabel in slik*

Tabela M1: Vzorčenje vode iz vodnjaka (A1.1G)

Tabela M2: Savski sediment (A2.1-2 G)

Tabela M3: Zemlja v okolici reaktorja – (A4.1G)

Tabela M4: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah (A5.1-4T)

Tabela M5: Meritve tekočinskih izpustov iz zadrževalne cisterne odseka O-2 (B1.1G)

Tabela M6: Drenaža reaktorja in vročih celic (B1.2G)

Tabela M7: Ar-41 v izpuhu iz reaktorja (B2.1Gp)

Tabela M8: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja (B2.2Ga)

Tabela M9: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice (Oznaka: B2.4Ga)

Tabela M10: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja (B3.1T)

Tabela M11: Aktivnost primarne vode reaktorja (C1.1G)

Tabela M12: Vzorčenje sekundarne vode reaktorja (C1.2G)

Tabela M13: Bazeni za iztrošene gorivne elemente (novi) (C1.3G)

Tabela M14: Meritev in-situ z germanijevim spektrometrom (C2.1IS)

Slika MS1: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja (B3.1T)

Slika MS2: Lokacija meritev hitrosti doze v okolici Reaktorskega centra in in na krožni poti znotraj ograje RC

Slika MS3: Meritve hitrost doze, merjene z ionizacijsko celico na poti znotraj ograje RC in v okolici (C2.2IC)



**Tabela M1: Vzorčenje vode iz vodnjaka v letu 2012**

Oznaka: A1.1G

Datum	Ura
05.01.2012	15:50
01.02.2012	10:30
01.03.2012	9:00
03.04.2012	15:30
07.05.2012	15:00
06.06.2012	10:30
03.07.2012	9:00
01.08.2012	8:30
05.09.2012	8:30
03.10.2012	10:45
07.11.2012	8:45
04.12.2012	14:00

Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.

**Tabela M2: Savski sediment (13.11.2012)**

Oznaka: A2.1 / 2 G

Izotop	A/m [Bq/kg]	
	nad izpustom	pod izpustom
masa [g]	346	383
K-40	316 ± 31	279 ± 27
Cs-137	< 2,19	< 1,93
Ra-226	25,9 ± 1,6	26,1 ± 1,6
Ra-228	26,6 ± 2,3	22,8 ± 1,9
Th-228	24,2 ± 1,5	21,5 ± 1,4
U-238	30,6 ± 7,0	29,6 ± 6,6

Opomba: Aktivnosti navedene v poročilu se nanašajo na izmerjeni vzorec in ne na celoten vzorčevalni material.

**Tabela M3: Zemlja na zahodni strani reaktorskega centra (13.11.2012)**

Oznaka: A4.1G

Izotop	A/m [Bq/kg]			A/S [kBq/m <sup>2</sup> ]
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	Depozit 0 - 15 cm
masa [g]	249	250	285	
K-40	302 ± 26	314 ± 27	332 ± 33	-
Cs-137	111 ± 9	99 ± 8	66 ± 4	17 ± 2
Ra-226	54 ± 4	54 ± 5	54 ± 3	-
Ra-228	32 ± 3	32 ± 3	31 ± 3	-
Th-228	32 ± 3	31 ± 3	32 ± 2	-
U-238	53 ± 25	36 ± 10	51 ± 23	-

Opomba: Aktivnosti navedene v poročilu se nanašajo na izmerjeni vzorec in ne na celoten vzorčevalni material.


**Tabela M4: Mesečne doze TLD na kontrolnih merilnih točkah v letu 2012**

Oznaka: A5.1 / 2 / 3 / 4 T

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]			
	Jug	Zahod	Sever	Vzhod
januar	0,068	0,077	0,080	0,078
februar	0,068	0,071	0,084	0,084
marec	0,070	0,078	0,086	0,082
april	0,069	0,076	0,081	0,081
maj	0,062	0,072	0,078	0,077
junij	0,063	0,075	0,078	0,078
julij	0,066	0,080	0,083	0,084
avgust	0,066	0,080	0,083	0,084
september	0,064	0,078	0,084	0,080
oktober	0,070	0,084	0,093	0,095
november	0,067	0,077	0,080	0,081
december	0,066	0,079	0,090	0,080
<b>skupaj 2012</b>	<b>0,799</b>	<b>0,927</b>	<b>1,000</b>	<b>0,984</b>

**Tabela M5: Meritve tekočinskih izpustov iz zadrževalne cisterne odseka O-2 v letu 2012**

Oznaka: B1.1G

Datum	V [m <sup>3</sup> ]	pH	Datum	V [m <sup>3</sup> ]	pH	Datum	V [m <sup>3</sup> ]	pH	Datum	V [m <sup>3</sup> ]	pH
03.01.2012	4,05	7,0	02.04.2012	12,08	7,0	18.07.2012	8,2	7,0	15.10.2012	10,06	7,0
09.01.2012	9,61	7,0	16.04.2012	12,15	7,0	23.07.2012	4,47	7,0	22.10.2012	9,43	7,0
16.01.2012	11,63	7,0	23.04.2012	11,7	7,0	30.07.2012	9,55	7,0	29.10.2012	9,07	7,0
23.01.2012	10,33	7,0	03.05.2012	10,09	7,0	03.08.2012	11,6	7,0	05.11.2012	7,46	7,0
30.01.2012	11,74	7,0	14.05.2012	10,38	7,0	13.08.2012	9,73	7,0	12.11.2012	9,84	7,0
06.02.2012	11,28	7,0	21.05.2012	8,35	7,0	20.08.2012	6,13	7,0	19.11.2012	8,8	7,0
13.02.2012	13,33	7,0	28.05.2012	11,4	7,0	30.08.2012	6,25	7,0	26.11.2012	10,4	7,0
20.02.2012	12,46	7,0	04.06.2012	10,45	7,0	03.09.2012	4,15	7,0	03.12.2012	10,18	7,0
27.02.2012	10,43	7,0	11.06.2012	9,16	7,0	10.09.2012	9,97	7,0	10.12.2012	9,77	7,0
05.03.2012	10,31	7,0	15.06.2012	8,28	7,0	17.09.2012	9,61	7,0	17.12.2012	11,01	7,0
12.03.2012	11,83	7,0	26.06.2012	11,3	7,5	24.09.2012	9,68	7,0	24.12.2012	11,62	7,0
19.03.2012	11,26	7,0	05.07.2012	11,92	7,0	01.10.2012	11,28	7,0			
26.03.2012	12,99	7,0	12.07.2012	10,5	7,0	08.10.2012	11,83	7,0			

Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.



**Tabela M6: Drenaža reaktorja v letu 2012**

Oznaka: B1.2G

Datum	Ura
30.01.2012	10:30
06.04.2012	8:20
07.06.2012	8:40
02.07.2012	8:35
17.07.2012	13:25
25.07.2012	8:30
28.08.2012	12:15
07.09.2012	8:40
19.10.2012	8:30
23.11.2012	8:50
10.12.2012	8:50

*Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.*

**Tabela M7: Ar-41 v izpuhu iz reaktorja v letu 2012**

Oznaka: B2.1Gp

Datum	$P_{\text{reaktorja}}$ [kW]	Ar-41 [kBq/m <sup>3</sup> ]
31.01.2012	250	79,3 ± 6,74
06.02.2012	250	83,3 ± 6,95
05.03.2012	250	85,7 ± 7,21
17.04.2012	250	84,2 ± 7,13
14.05.2012	250	83,3 ± 7,02
04.06.2012	250	79,5 ± 6,66
07.06.2012	250	77,0 ± 6,45
17.08.2012	250	74,5 ± 6,30
18.10.2012	250	82,7 ± 6,95
21.11.2012	250	83,2 ± 7,04
<b>Povprečje:</b>	<b>250</b>	<b>81,3</b>

*Opomba: Aktivnosti navedene v poročilu se nanašajo na izmerjeni vzorec in ne na celoten vzorčevalni material.*



**Tabela M8: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu reaktorja v letu 2012**

Oznaka: B2.2Ga

Datum											
jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sept	okt	nov	dec
3.1.12	2.2.12	1.3.12	2.4.12	3.5.12	4.6.12	2.7.12	2.8.12	3.9.12	1.10.12	2.11.12	3.12.12
5.1.12	6.2.12	5.3.12	5.4.12	7.5.12	7.6.12	5.7.12	7.8.12	6.9.12	4.10.12	5.11.12	6.12.12
9.1.12	9.2.12	8.3.12	10.4.12	10.5.12	11.6.12	9.7.12	9.8.12	10.9.12	8.10.12	8.11.12	10.12.12
12.1.12	13.2.12	12.3.12	12.4.12	14.5.12	14.6.12	13.7.12	13.8.12	13.9.12	11.10.12	12.11.12	14.12.12
16.1.12	16.2.12	15.3.12	16.4.12	17.5.12	18.6.12	17.7.12	16.8.12	17.9.12	15.10.12	15.11.12	17.12.12
19.1.12	20.2.12	19.3.12	19.4.12	21.5.12	21.6.12	19.7.12	20.8.12	20.9.12	18.10.12	19.11.12	20.12.12
23.1.12	23.2.12	22.3.12	23.4.12	24.5.12	26.6.12	23.7.12	23.8.12	24.9.12	22.10.12	22.11.12	24.12.12
26.1.12	27.2.12	26.3.12	26.4.12	28.5.12	28.6.12	26.7.12	28.8.12	27.9.12	25.10.12	26.11.12	27.12.12
30.1.12		29.3.12		31.5.12		30.7.12	30.8.12		29.10.12	29.11.12	

Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.

**Tabela M9: Meritve filtrov zračnih delcev na izpuhu vroče celice v letu 2012**

Oznaka: B2.4Ga

Datum											
jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sept	okt	nov	dec
3.1.12	2.2.12	1.3.12	2.4.12	3.5.12	4.6.12	2.7.12	2.8.12	3.9.12	1.10.12	2.11.12	3.12.12
5.1.12	6.2.12	5.3.12	5.4.12	7.5.12	7.6.12	5.7.12	7.8.12	6.9.12	4.10.12	5.11.12	6.12.12
9.1.12	9.2.12	8.3.12	10.4.12	10.5.12	11.6.12	9.7.12	9.8.12	10.9.12	8.10.12	8.11.12	10.12.12
12.1.12	13.2.12	12.3.12	12.4.12	14.5.12	14.6.12	13.7.12	13.8.12	13.9.12	11.10.12	12.11.12	14.12.12
16.1.12	16.2.12	15.3.12	16.4.12	17.5.12	18.6.12	17.7.12	16.8.12	17.9.12	15.10.12	15.11.12	17.12.12
19.1.12	20.2.12	19.3.12	19.4.12	21.5.12	21.6.12	19.7.12	20.8.12	20.9.12	18.10.12	19.11.12	20.12.12
23.1.12	23.2.12	22.3.12	23.4.12	24.5.12	26.6.12	23.7.12	23.8.12	24.9.12	22.10.12	22.11.12	24.12.12
26.1.12	27.2.12	26.3.12	26.4.12	28.5.12	28.6.12	26.7.12	28.8.12	27.9.12	25.10.12	26.11.12	27.12.12
30.1.12		29.3.12		31.5.12		30.7.12	30.8.12		29.10.12	29.11.12	

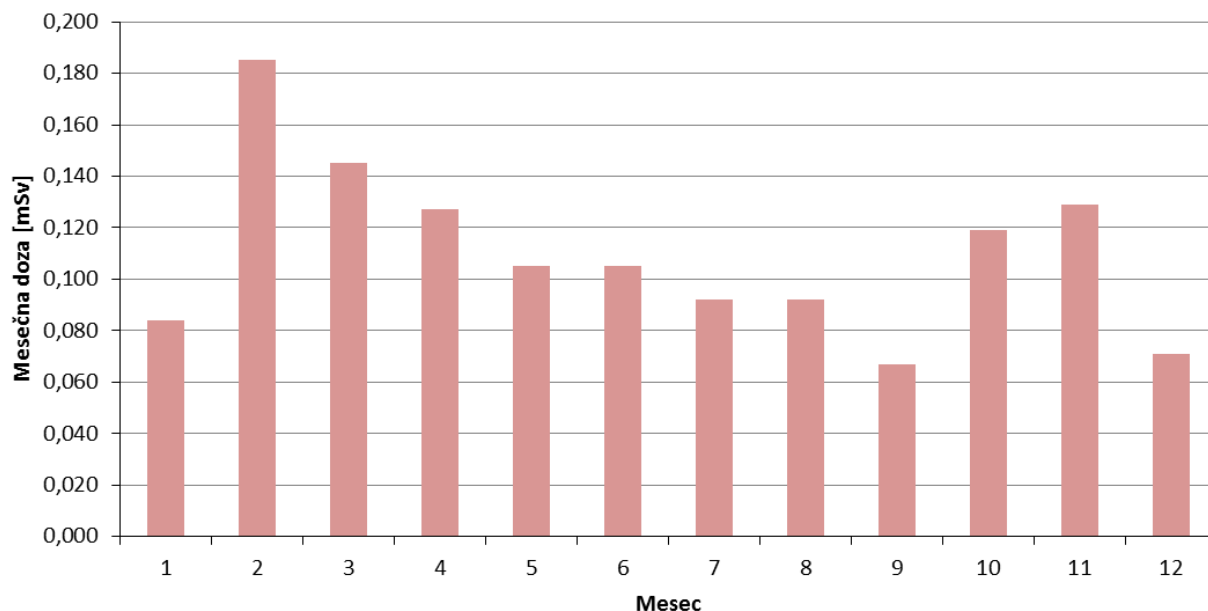
Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.



**Tabela M10: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2012**

Oznaka: B3.1T

Mesec	Mesečna doza [mSv/mesec]
januar	0,084
februar	0,185
marec	0,145
april	0,127
maj	0,105
junij	0,105
julij	0,092
avgust	0,092
september	0,067
oktober	0,119
november	0,129
december	0,071
skupaj 2012	1,321



**Slika MS1: Mesečne doze TLD na izpuhu iz reaktorja v letu 2012**

Oznaka: B3.1T



Tabela M11: Aktivnost primarne vode reaktorja v letu 2012

Oznaka: C1.1G

Datum	P <sub>reakt.</sub> [kW]	Na-24 [Bq/kg]	Ar-41 [Bq/kg]	Cr-51 [Bq/kg]	Mn-54 [Bq/kg]	Mn-56 [Bq/kg]	Co-58 [Bq/kg]	Co-60 [Bq/kg]	Tc-99m [Bq/kg]	Sb-122 [Bq/kg]	W-187 [Bq/kg]
03.01.2012	0										
09.01.2012	0										
16.01.2012	0	4,25 ± 1,39		< 15	< 2,48			3,21 ± 0,79			
23.01.2012	0	13,5 ± 2,2									
30.01.2012	0	13,6 ± 2,4									
06.02.2012	250	50,8 ± 5,8	4236 ± 396			184 ± 18				7,79 ± 2,11	< 19,0
13.02.2012	0	24,4 ± 3,1		< 17,9						7,11 ± 1,56	< 9,67
20.02.2012	0	11,1 ± 2,2					< 2,67			< 3,13	
27.02.2012	250	64,7 ± 7,1	8597 ± 795			440 ± 36				< 6,92	< 29,1
05.03.2012	250	80,7 ± 8,6	9798 ± 908	< 31,4		511 ± 42				7,24 ± 2,52	37,4 ± 6,6
12.03.2012	0				< 1,6		2,9 ± 0,85			< 2,92	
19.03.2012	0	154 ± 15		< 19,9			4,77 ± 1,17			9,31 ± 2,06	56,1 ± 5,7
26.03.2012	250	294 ± 28	14769 ± 1363			905 ± 70				16,6 ± 3,9	137 ± 13
02.04.2012	0			< 17,8	2,58 ± 0,82					< 2,86	
04.04.2012	0									3,76 ± 0,91	
11.04.2012	250	850 ± 80	30579 ± 2809			1862 ± 138				< 12,2	
11.04.2012	250	1032 ± 97	32940 ± 3026			1891 ± 140				20,4 ± 5,9	251 ± 26
17.04.2012	250	1017 ± 100	32501 ± 3135			1859 ± 144				26,5 ± 7	315 ± 32
17.04.2012	250	1194 ± 112	29708 ± 2729			1803 ± 133				22,9 ± 5,9	
23.04.2012	0			28,9 ± 6						8,81 ± 1,9	324 ± 30
07.05.2012	0										
14.05.2012	250	318 ± 31	20888 ± 1925			1368 ± 103					
21.05.2012	0								< 1,89	2,5 ± 0,88	110 ± 13
28.05.2012	250	169 ± 17	15652 ± 1444			921 ± 71				< 6,8	
04.06.2012	250	55,1 ± 6,3	7280 ± 677			430 ± 38			< 36,8	7,15 ± 2,29	71,3 ± 9,6
11.06.2012	0	5,73 ± 1,52									32,9 ± 7,6
18.06.2012	0	5,16 ± 1,34		< 16,4						2,19 ± 0,77	< 11,0
26.06.2012	0										< 8,21
02.07.2012	0	138 ± 14		27,7 ± 6,6			5,59 ± 1,33			8,78 ± 1,93	
09.07.2012	0	45,3 ± 5,1		< 18,5			4,21 ± 1,03			4,32 ± 1,12	34,6 ± 4,2
16.07.2012	0										14,6 ± 2,7
23.07.2012	0										
30.07.2012	250	330 ± 32	20252 ± 1866			1382 ± 104					
06.08.2012	250	376 ± 36	14598 ± 1341			1006 ± 75				< 8,17	123 ± 13
13.08.2012	0										91,7 ± 14,1
20.08.2012	0	51,7 ± 5,9		< 21							
27.08.2012	0			< 15,2							< 12,7
03.09.2012	0	57,9 ± 6,2		26,4 ± 6,2			< 3,28				
10.09.2012	0	7,69 ± 1,53									< 10,7
17.09.2012	0	42,4 ± 5					4,43 ± 0,97				
24.09.2012	0	46,9 ± 5,4								< 2,43	
01.10.2012	0										10,1 ± 3,2
08.10.2012	0	17,2 ± 2,6									
15.10.2012	0	93,2 ± 9,5								7,16 ± 1,69	
22.10.2012	0	81,6 ± 8,6		< 20,3			4,07 ± 1,01			10,9 ± 2,5	23,1 ± 3,3
29.10.2012	0	20,9 ± 3		19,4 ± 5,8			5,92 ± 1,12			< 3,26	27,6 ± 3,8
05.11.2012	0	163 ± 16		< 20,3		< 15,5				< 3,9	< 9,29
12.11.2012	60	27,4 ± 3,6	884 ± 86			50,4 ± 7,6				7,87 ± 1,71	42,3 ± 4,7
19.11.2012	0			< 17,9			4,48 ± 1,08				19,0 ± 4,8
26.11.2012	0	36,6 ± 4,3		< 17,4			4,79 ± 1,08			5,64 ± 1,42	
29.11.2012	0	182 ± 18		< 22,2			< 3,9			11,4 ± 2,2	15,3 ± 3,6
30.11.2012	0	91,1 ± 9,4		24,3 ± 7,2						9,82 ± 2,06	51,3 ± 5,3
01.12.2012	0	74,2 ± 10,7		23,5 ± 5,7			< 3,31				29,0 ± 3,7
03.12.2012	0	7,08 ± 1,6	356 ± 34	< 21,8		19,1 ± 3,1				3,65 ± 0,96	40,3 ± 6,6
07.12.2012	0	< 4,37	1203 ± 112			54 ± 5,7				< 2,59	
17.12.2012	0	20,1 ± 2,8					< 2,56				
24.12.2012	0	12,9 ± 2,2		< 19,8	< 2,65		< 2,85				< 12,1
03.01.2012	0										< 9,70

Opomba: prazno polje pomeni, da radionuklid ni bil detektiran. Aktivnosti navedene v poročilu se nanašajo na izmerjeni vzorec in ne na celoten vzorčevalni material.





**Tabela M12: Vzorčenje sekundarne vode reaktorja v letu 2012**

Oznaka: C1.2G

Datum	Ura
12.01.2012	13:25
06.02.2012	10:20
02.03.2012	10:55
11.04.2012	11:00
14.05.2012	9:15
04.06.2012	10:00
06.07.2012	10:30
01.08.2012	11:00
06.09.2012	12:40
12.10.2012	12:15
07.11.2012	13:00
18.12.2012	11:00

*Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.*

**Tabela M13: Bazen za iztrošene gorivne elemente v letu 2012**

Oznaka: C1.3G

Datum	pH
09.01.2012	5,5
01.02.2012	5,5
02.03.2012	6,0
04.04.2012	6,0
07.05.2012	6,0
04.06.2012	6,0
04.07.2012	6,0
01.08.2012	6,0
05.09.2012	6,0
04.10.2012	6,0
07.11.2012	6,0
05.12.2012	6,0

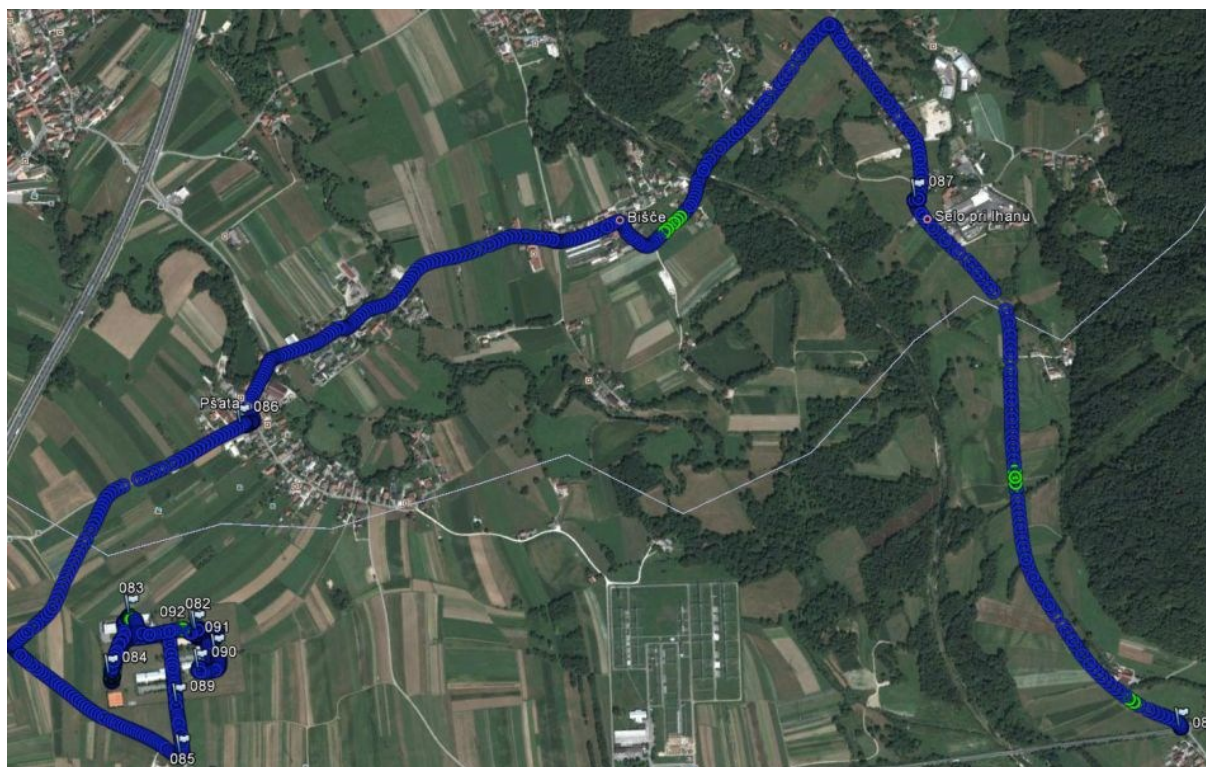
*Opomba: Vse aktivnosti umetnih radionuklidov v vzorcih so bile pod detekcijsko mejo.*



**Tabela M14: Meritev in-situ z germanijevim spektrometrom 18.10.2012 na zahodni strani reaktorja**

Oznaka: C2.1IS

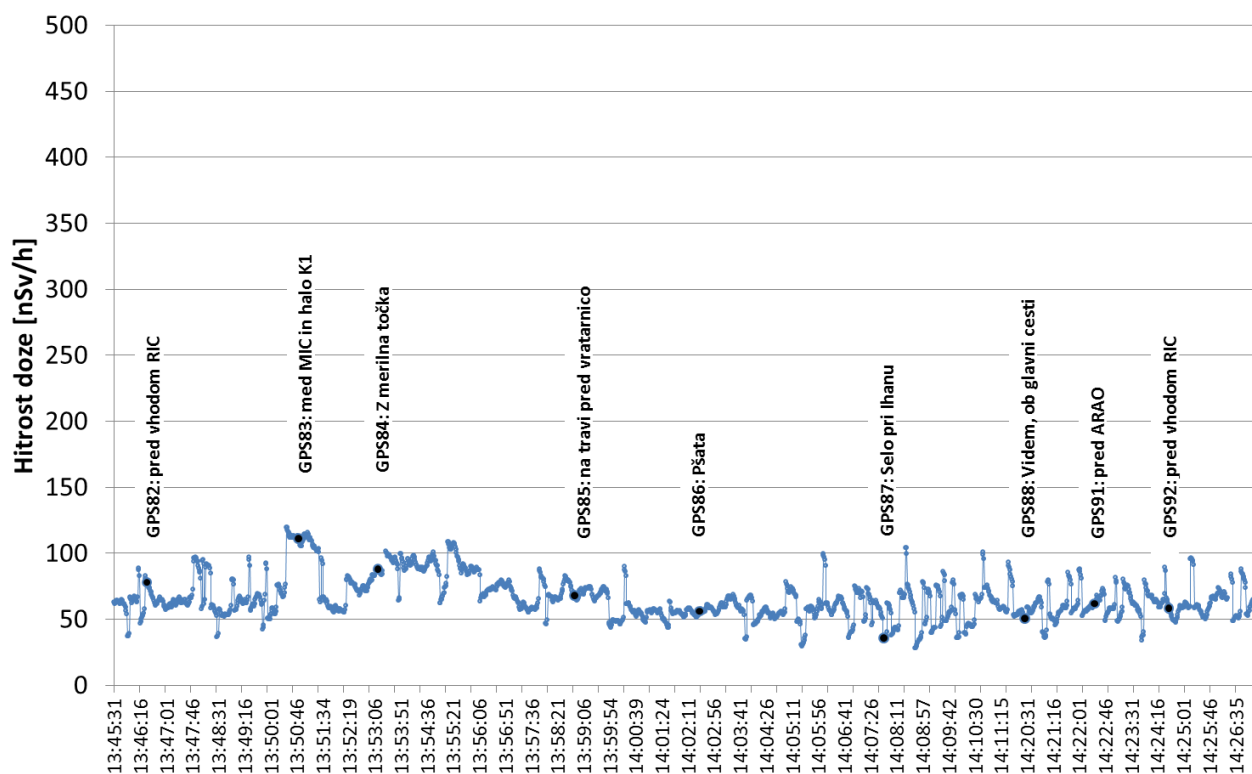
Izotop	Enakomerna porazdelitev [Bq/kg]	Površinska porazdelitev [kBq/m <sup>2</sup> ]
Be-7	-	0,59 ± 0,12
K-40	176 ± 20	-
Cs-137	44,6 ± 5,3	1,64 ± 0,19
Ra-226	21,4 ± 2,6	-
Ra-228	16,1 ± 1,9	-
Th-228	17,9 ± 1,9	-



**Slika MS2: Lokacija meritev hitrosti doze s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H, 11.6.2012 v okolici Reaktorskega centra in na krožni poti znotraj ograje RC**



Route monitoring Reaktorskega Centra z okolico, 11.6.2012



Slika MS3: Hitrost doze  $H^*(10)$ , merjena s scintilacijsko sondo Automess 6150AD-b/H, na poti znotraj ograje RC in v okolici (11.6.2012).

Oznaka: C2.2IC



### 4.3 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.

Pri rezultatih spektrometrije gama vzorcev zraka in vode navajamo le umetne radionuklide. Pri vzorcih zemlje in sedimentov navajamo umetne in naravne radionuklide.

#### 4.3.1 Voda

Aktivnost navajamo v enotah: Bq/kg.

#### 4.3.2 Zemlja

Aktivnost podajamo v Bq/kg osušene zemlje ali kot used v Bq/m<sup>2</sup> za umetne radionuklide v primeru in-situ spektrometrije gama.

#### 4.3.3 Zrak

Aktivnost navajamo v enotah: Bq (skupna aktivnost filtra).

#### 4.3.4 Zunanja doza

Podajamo jo z okoljskim doznim ekvivalentom  $H^*(10)$  izraženim z enoto Sv (Sievert). Okoljska doza za običajno naravno okolje je:  $H^*(10) = 1,22 \times K_a$ .  $K_a$  je absorbirana doza v zraku izražena z enoto Gy (Gray).

### 4.4 Merske metode

#### 4.4.1 Termoluminiscenčna dozimetrija

Odčitavanje termoluminiscenčnih dozimetrov, ki jih uporabljamo za meritve okoljskih doz, izvaja Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij. Metoda je bila akreditirana pri Slovenski akreditaciji (SA) pod zaporedno številko LP-022.

#### 4.4.2 Visokoločljivostna spektrometrija gama

Vse meritve aktivnosti sevalcev gama izvajamo s spektrometrijo gama. Za meritve uporabljamo dva HPGe detektorja. Od leta 2011 izvajamo meritve rednih vzorcev za nadzor reaktorskega centra IJS (filtri, vode in zemlje) po akreditirani metodi.

### 4.5 Orientacijske spodnje detekcijske meje za VLG spektrometrijo

Za vsak številski rezultat preverimo ali presega kritično vrednost ( $L_C = 1,645\sqrt{2B}$ , kjer je  $B$  število sunkov v ustreznem ozadju). Če je ne presega, rezultata ne poročamo. Kadar rezultat presega kritično vrednost, ga poročamo kot številski rezultat samo v primeru, da presega tudi spodnjo detekcijsko mejo za konkretno meritev. Spodnjo detekcijsko mejo izračunamo kot  $L_D = 2,71 + 4,65\sqrt{B}$ , kjer je  $B$  število sunkov v ustreznem ozadju. Kadar je vrednost meritve nižja kot spodnja detekcijska meja, poročamo rezultat kot »< MDA«, kjer je MDA aktivnost, ki ustreza spodnji detekcijski meji.



V tabeli so podane orientacijske spodnje detekcijske meje (MDA) za VLG detektorja d0 (CANBERRA) in d1 (ORTEC).

MEDIJ	Voda		Zrak		Zemlja	
Velikost vzorca	240 mL		200 m <sup>3</sup>		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

## 4.6 Primerjalne meritve

Konec leta 2011 smo sodelovali v dveh mednarodnih primerjalnih meritvah, katerih končni ali delni rezultati so bili poročani v letu 2012. Rezultati mednarodnih primerjalnih meritev potrjujejo usposobljenost laboratorija SVPIS za meritve.

Kriterij sprejemljivosti je z-vrednost, za katero velja

- $z \leq 2$  ... ustreza,
- $2 < z < 3$  ... pogojno ustreza,
- $z \geq 3$  ... ne ustreza,

ali u-test, pri katerem velja, da ustrezajo rezultati z  $u < 1,96$ .

### 4.6.1 The IAEA-TEL-2011-03 World-wide Proficiency Test on the determination of natural and artificial radionuclides in water and soil, 2011

Meritve umetnih radionuklidov v vodnih vzorcih

Vzorec 1

Izotop	A [Bq/kg]		Relativno odstopanje	z-vrednost	Natančnost	Odstopanje
	SVPIS	IAEA				
Co-60	14,74 ± 1,25	15,3 ± 0,2	-3,7%	-0,37	Ustreza	Ustreza
Ba-133	5,46 ± 0,86	5 ± 0,1	9,2%	0,92	Ustreza	Ustreza
Cs-134	7,72 ± 0,78	7,7 ± 0,1	0,2%	0,02	Ustreza	Ustreza
Cs-137	6,47 ± 0,91	6,2 ± 0,1	4,3%	0,43	Ustreza	Ustreza
Eu-152	14,96 ± 1,63	15,4 ± 0,2	-2,9%	-0,29	Ustreza	Ustreza
Am-241	5,57 ± 1,65	4,7 ± 0,1	18,6%	1,86	Ustreza	Ne ustreza



Vzorec 2

Izotop	A [Bq/kg]		Relativno odstopanje	z-vrednost	Natančnost	Odstopanje
	SVPIS	IAEA				
Co-60	8,17 ± 0,83	7,6 ± 0,1	7,5%	0,75	Ustreza	Ustreza
Ba-133	3,17 ± 0,71	2,5 ± 0,1	26,7%	2,67	Ustreza	Ne ustreza
Cs-134	2,93 ± 0,53	3,8 ± 0,1	-22,9%	-2,29	Ustreza	Ustreza
Cs-137	3,1 ± 0,57	3,1 ± 0,1	0,1%	0,01	Ustreza	Ustreza
Eu-152	6,99 ± 0,99	7,7 ± 0,1	-9,3%	-0,93	Ustreza	Ustreza

Vzorec 3

Izotop	A [Bq/kg]		Relativno odstopanje	z-vrednost	Natančnost	Odstopanje
	SVPIS	IAEA				
Co-60	10,34 ± 0,97	10,7 ± 0,2	-3,4%	-0,34	Ustreza	Ustreza
Ba-133	3,88 ± 0,72	3,5 ± 0,1	10,9%	1,09	Ustreza	Ustreza
Cs-134	5,07 ± 0,67	5,4 ± 0,1	-6,2%	-0,62	Ustreza	Ustreza
Cs-137	5,03 ± 0,83	4,4 ± 0,1	14,4%	1,44	Ustreza	Ustreza
Eu-152	11,24 ± 1,28	10,8 ± 0,2	4,1%	0,41	Ustreza	Ustreza

Opomba: Sprejemljiva natančnost:  $\sqrt{(u_{IAEA}^2/A_{IAEA}^2 + u_{SVPIS}^2/A_{SVPIS}^2)} < 0,2$  (meja sprejemljive natančnosti je 20%)  
 Sprejemljivo odstopanje: relativno odstopanje  $< 0,2$  (meja sprejemljivega realtivnega odstopanja je 20%)

Točnost vseh meritev je bila dobra, le natančnost je bila za dva poročana rezultata po kriterijih organizatorjev nezadostna. Tudi ti dve vrednosti v okviru naše negotovosti zadoščata, kar je za naše potrebe zadovoljivo – koncentracije radionuklidov so namreč zelo nizke, nižje kot jih meri naš laboratorij.

#### 4.6.2 NPL environmental radioactivity proficiency test exercise 2011

Meritve umetnih radionuklidov v vodnih vzorcih

Izotop	A [Bq/g]		u-test	Ustreznost
	SVPIS	NPL		
Mn-54	14,89 ± 0,90	14,88 ± 0,12	0,01	Ustreza
Co-57	0,81 ± 0,12	0,81 ± 0,02	0,00	Ustreza
Co-58	18,44 ± 1,09	18,54 ± 0,28	0,09	Ustreza
Fe-59	14,65 ± 0,95	15,07 ± 0,12	0,44	Ustreza
Co-60	18,47 ± 1,25	18,73 ± 0,08	0,21	Ustreza
Sb-125	2,31 ± 0,13	2,30 ± 0,02	0,09	Ustreza
Cs-137	7,27 ± 0,40	7,15 ± 0,14	0,28	Ustreza

Točnost vseh meritev je bila dobra.