

Title	FiR 1 -tutkimusreaktorin käytetyn polttoaineen siirrossa tapahtuvan onnettomuuden tarkastelu
Author(s)	Rossi, Jukka
Citation	TUTKIMUSRAPORTTI : VTT-R-03689-16 VTT, 2016, pages 6.
Rights	This report may be downloaded for personal use only.

VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000
FI-02044 VTT
Finland

By using VTT Digital Open Access Repository you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:




This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



FIR 1 –TUTKIMUSREAKTORIN KÄYTETYN POLTTOAINEEN SIIRROSSA TAPAHTUVAN ONNETTOMUUDEN TARKASTELU

Kirjoittajat: Jukka Rossi

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi		
FIR 1 –TUTKIMUSREAKTORIN KÄYTETYN POLTTOAINEEN SIIRROSSA TAPAHTUVAN ONNETTOMUUDEN TARKASTELU		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot	Asiakkaan viite	
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi	
Käyttölupamuutos	109183 1.4	
Raportin laatija(t)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä	
Jukka Rossi	6/0	
Avainsanat	Raportin numero	
FiR 1, käytöstäpoisto, onnettomuuspäästö, säteilyannos	VTT-R-03680-16	
Tiivistelmä		
<p>FiR1:n käytöstäpoiston sujuessa suunnitelmien mukaisesti ei siitä ole odotettavissa päästöjä ympäristöön. Raportissa kuvataan polttoaineen reaktorista poiston yhteydessä tapahtuvaksi oletettua onnettomuustilannetta ja sen seurauksia. Onnettomuus voisi tapahtua siirtosäiliön nostojen ja kuljetussäiliön täytön aikana. Oletetaan, että kaikki siirtokorissa olevat 24 polttoainesauvaa menettävät tiiviytensä ja samalla siirtosäiliön kansi irtoaa, jolloin sauvoista voisi vapautua radioaktiivisia aineita suoraan ulos.</p> <p>FiR1:n käytetty polttoaine on vuosia jäähtynyttä ja sen lämpöteho on alle 1 W/sauva, joten sauvan lämpötila vastaa suunnilleen huoneen lämpötilaa. Sauvassa olevat kaasumaiset fissiotuotteet voivat vapautua ulos. Kiinteiden fissiotuotteiden vapautuminen sauvasta ulos vaatisi paljon korkeamman sauvan sisäisen paineen tai lämpötilan.</p> <p>Muut jalokaasut, paitsi Kr-85, ovat hajonneet pois. Karkean arvion perusteella lastauspaikalla voisi kryptonin päästöstä aiheutua 0,5 mSv/h annosnopeus. Oletetun onnettomuusluokan 1 annosraja väestön eniten altistuvalla yksilöllä on 1 mSv. Lyhyen annoksen kertymäajan takia jäisi yksilöannos tätä pienemmäksi lähialueella, eikä myöskään väestönsuojelutoimenpiteitä tarvittaisi.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 9.9.2016 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
 Jukka Rossi Erikoistutkija	 Mikko Ilvonen Erikoistutkija	 Satu Helynen Tutkimusalueen päällikkö
VTT:n yhteystiedot		
VTT, PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
VTT:n arkisto (1 kpl)		
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	2
1. Johdanto.....	3
2. Taustaa.....	3
3. Polttoaineen siirto kuljetussäiliöön	3
4. Onnettomuuden kuvaus ja päästöt.....	3
5. Annokset.....	5
6. Lähdeluettelo	6

1. Johdanto

Tämä raportti on tarkoitettu Espoon Otaniemen tutkimusreaktorin FiR1:n käytöstäpoistoon liittyvän turvallisuusselosteen taustamateriaaliksi. Käytöstä poiston sujussa suunnitelmien mukaisesti ei siitä ole odotettavissa päästöjä ympäristöön. Raportissa kuvataan polttoaineen reaktorista poiston yhteydessä tapahtuvaksi oletettua onnettomuustilannetta ja sen seurauksia. Onnettomuuden todennäköisyyttä ei ole arvioitu. Aiemmin on YVA:n aikaisessa taustaraportissa (Rossi 2014) kuvattu reaktorin purun aikaista ilmakontaminaatioon liittyvää häiriötilannetta sekä polttoainealtaassa tapahtuvaksi oletettua onnettomuustilannetta. Ydinpolttoaineen ja purkujätteen kuljetuksiin sekä loppusijoitukseen mahdollisesti liittyvät päästötarkastelut eivät sisälly tähän raporttiin.

2. Taustaa

Lausunnossaan (STUK 2014a) STUK toteaa Fir1:n purkuun liittyvästä YVA-selostuksesta, että reaktorin vesialtaassa tapahtuvaksi oletetun polttoaineenkäsittelyonnettomuuden lisäksi myös muissa polttoaineen poiston työvaiheissa, kuten siirtosäiliön nostojen ja kuljetussäiliön täytön aikana tapahtuvien mahdollisten onnettomuuksien säteilyvaikutuksia väestölle on analysoitava. Analyysin perusteella VTT:n tulee tarvittaessa suunnitella ja toteuttaa toimenpiteet onnettomuusriskin pienentämiseksi.

YVL-ohjeen D.5 (STUK 2013) mukaan odotettavissa olevat oletetut onnettomuudet luokitellaan kahteen luokkaan siten, että luokan 1 onnettomuuksien todennäköisyys on suurempi ja luokan 2 onnettomuuksien todennäköisyys pienempi kuin kerran tuhannessa vuodessa. Oletetun onnettomuuden seurauksena väestön eniten altistuville yksilöille aiheutuva efektiivinen vuosiansio ei ylitä

- a) arvoa 1 mSv luokan 1 oletetun onnettomuuden sattuessa
- b) arvoa 5 mSv luokan 2 oletetun onnettomuuden sattuessa.

Arvioidaan tässä käsiteltävän oletetun onnettomuuden kuuluvan luokkaan 1.

3. Polttoaineen siirto kuljetussäiliöön

Polttoainealtaassa siirtokori täytetään käytetyllä polttoaineella ja suljetaan, jonka jälkeen se nostetaan ylös ja asetetaan lattialla olevalle kuljetusalustalle, jolla se viedään ulos. Pihalla siirtosäiliö nostetaan varsinaisen kuljetussäiliön yläpuolelle, jossa se asemoidaan kiinni kuljetussäiliöön ja kori sauvoineen lasketaan kuljetussäiliöön. Siirtosäiliöön mahtuu 24 sauvaa ja kuljetussäiliöön mahtuu 120 ehjää sauvaa. Jos sauva ei ole ehjä ja vaatii suojausputken, se vie siirtokorissa yhden position tilan eli neljän sauvan paikan. Näitä tiiveydensä menettäneitä sauvoja on 8. Kuljetettavia sauvoja on kaikkiaan 103, joten tarvitaan viisi siirtoa altaasta kuljetussäiliöön. Yksi kuljetussäiliö riittää. Kuljetussäiliön täyttö tapahtuu reaktorirakennuksen viereisellä pihalla, joka on eristetty tarkoituksenmukaisella tavalla.

4. Onnettomuuden kuvaus ja päästöt

Oletetaan onnettomuuden aiheutuvan korin siirron yhteydessä siten, että kaikki siirtokorissa olevat 24 polttoainesauvaa menettävät tiiveydensä. Samalla siirtosäiliön kannen tiiveys menetetään, jolloin sauvoista voisi vapautua radioaktiivisia aineita suoraan ulos. Siirtosäiliö nostetaan lastauksen yhteydessä noin 7 metrin korkeudelle, jolloin sen putoaminen maahan

voisi mahdollisesti aiheuttaa päästön. Putoamisriskiä voidaan pienentää käyttämällä tarkastettuja työmenetelmiä ja -välineitä. Täyteen lastatun kuljetussäiliön kaikkien sauvojen rikkoontumista ja säiliön vuotoa esimerkiksi tulipalon seurauksena pidetään hyvin epätodennäköisenä onnettomuutena.

Fir1:n käytetty polttoaine on vuosia jäähtynyttä ja sen lämpöteho on alle 1 W/sauva, joten sauvan lämpötila vastaa suunnilleen huoneen lämpötilaa. Sauvassa olevat kaasumaiset fissiotuotteet voivat vapautua ulos. Ei-kaasumaiset fissiotuotteet ja aktivoitumistuotteet ovat kiinteässä muodossa pinnoille tiivistyneinä ja siten niiden vapautuminen sauvan ulkopuolelle on epätodennäköistä. Jotta niitä vapautuisi ulos, pitäisi sauvan sisäisen paineen tai lämpötilan olla huomattavasti suurempia. Esimerkiksi kesium ja sen yhdisteet kuten CsI ja CsOH voivat haihtua, mikäli lämpötila olisi yli 500 °C. Vertailun vuoksi on seuraavassa taulukossa (Table E-17) esitetty raportissa (NUREG-2125 2014) julkaistu arvio käytetyn kaupallisen polttoaineen kuivakuljetuksen törmäysonnettomuuteen liittyvistä päästösuuksista, kun sauvat ja säiliö menettävät tiivytensä.

Table E-17 shows sources of the parameter values in Table E-16. The parameter values are consistent with those in Sanders et al. (1992).

Table E-17 Sources of the Parameter Values in Table E-16

		Release fraction	Comment
Cask-to-Environment Release Fraction	Gas	0.800	The basis of each release fraction is the size of the gap in the seal—the leak area—provided for each combination of impact speed and orientation in Table C-1 in Appendix C. Release fractions were obtained from the graph in Figure 7.11 (pp. 7–53) in Sprung et al. (2000).
	Particles	0.70	
	Particles—Corner Impact	0.64	
	Volatiles	0.50	
	Volatiles—Corner Impact	0.45	
	CRUD	0.001	This release fraction is based on Einziger and Beyer (2007) and discussed in Section E.5.4.1.
Rod-to-Cask Release Fraction	Gas	0.12	From Einziger, personal communication.
	Particles	4.80×10^{-6}	From the release fraction in Hanson et al. (2008), Table 4.10.
	Particles—Corner Impact	2.4×10^{-6}	
	Volatiles	3.00×10^{-5}	Average of values in Hanson et al. (2008), Section 4.3, p. 4.12.
	Volatiles—Corner Impact	1.5×10^{-5}	
	CRUD	1.00	CRUD is on the outside of the rod.

Taulukossa on annettu erikseen päästösuudet sauvasta säiliöön ja säiliöstä ulos. Kaasumaisten aineiden vapautumisosuus sauvasta säiliöön on 0,12 ja muiden haihtuvien aineiden ja aerosolien vapautumisosuus luokkaa 10^{-5} - 10^{-6} . Säiliön arvioidaan lisäksi pidättävän osan päästöistä.

Lastauspaikka sijaitsee rakennusten vieressä ja päästö tapahtuisi maanpinnalta, joten perinteiset dispersiomallit eivät pysty kuvaamaan päästövanan leviämistä. Aiheutuvia annoksia voidaan karkeasti arvioida siten, että oletetaan onnettomuuden alkuvaiheessa päästön olevan tasaisesti jakautuneena rakennusten ja eristetyn alueen sisällä. Sen tilavuus on karkeasti $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3$. Oletetaan kaasumaisten aineiden päästö, josta ei

aiheudu depositiota maahan ja lasketaan ulkoinen säteilyannosnopeus jalokaasusta ohjeen (STUK 2014b, luku 4.2) esittämällä tavalla.

Fir1:n inventaari on esitetty lähteessä (Viitanen & Rätty 2012). On arvioitu, että kuljetus tapahtuisi aikaisintaan kolmen vuoden kuluttua reaktorin pysäytyksestä. Silloin muut jalokaasut ovat hajonneet pois, paitsi Kr-85, jonka puoliintumisaika on 10,8 vuotta ja sitä olisi yhdessä sauvassa jäljellä 21 GBq (suurin palama).

5. Annokset

Soveltamalla edellä mainittua annoslaskentamenettelyä 24 sauvan päästöön, saadaan lastausalueella vallitsevaksi annosnopeudeksi 0,5 mSv/h onnettomuuden alkuhetkellä kaavan 1 mukaisesti

$$D_{\text{cloud}} = \text{Lkm} * \text{inv.} * \text{DF} / \text{Tilavuus}, \quad (1)$$

missä

D_{cloud} on ulkoisen pilvestä tulevan säteilyn annosnopeus (Sv/h),
Lkm on vaurioituvien sauvojen lukumäärä 24 kpl,
Inv on sauvakohtainen Kr-85 inventaari 21 (GBq),
DF on ulkoisen säteilyn annoskerroin $9,2\text{E}-13$ (Sv/h)/(Bq/m³) (STUK 2014b),
Tilavuus on radioaktiivisen pilven tilavuus (m³).

Käytetty polttoaine sisältää myös tritiumia H-3, jonka puoliintumisaika on 12 vuotta. Polttoainesauvassa sen voidaan olettaa esiintyvän kaasumaisena, jolloin se helposti vapautuu ulos ja sen säteilyvaikutus tulee lähinnä hengityksen kautta. Tritiumin ulkoisen säteilyn annoskerroin on kertaluokkia pienempi kuin nuklidin Kr-85. Hengityksen kautta annos jää tässä päästössä myös kertaluokkia pienemmäksi kuin arvioitu Kr-85:n aiheuttama ulkoinen annos. Tritiumin aiheuttamaa hengitysannosnopeutta voidaan arvioida kaavan 2 avulla

$$D_{\text{inh}} = \text{Lkm} * \text{inv.} * \text{H} * \text{DF} / \text{Tilavuus}, \quad (2)$$

missä

D_{inh} on kaasumaisen tritiumin hengittämisestä aiheutuva annosnopeus (Sv/h),
Lkm on vaurioituvien sauvojen lukumäärä 24 kpl,
Inv on sauvakohtainen H-3 inventaari 1,6 (GBq),
H on hengitysnopeus 1 (m³/h),
DF on kaasumaisen tritiumin hengitysannoskerroin $1,8\text{E}-15$ (Sv/Bq) (ICRP 119),
Tilavuus on pilven tilavuus (m³).

Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 2 saadaan tritiumkaasun aiheuttamaksi hengitysannokseksi 0,000069 mSv/h.

Annosta voidaan rajoittaa poistumalla lastauspaikalta.

Mahdollisesti kaasumaisessa muodossa olevan I-129 määrä on niin pieni, että sen aiheuttama säteilyannos on kertaluokkia pienempi kuin Kr-85:n aiheuttama annos.

Ympäristössä kertyvä yksilöannos jää lastauspaikalla aiheutuvaa annosta pienemmäksi, koska jalokaasu todennäköisesti leviää ympäristöön samalla laimentuen ympäröivään ilmaan. Yksilöannosta etäisyyden funktiona voidaan arvioida laskemalla pilvivanan tilavuuden kasvusta aiheutuvan laimennustekijän pienenemistä hajontaparametrien σ_y ja σ_z avulla (Briggs-Gifford) menetelmällä kaupunkiympäristössä. Esimerkiksi stabiiliusluokassa F kaavat σ_y ja σ_z -arvoille ovat:

$$\sigma_y(x) = 0.11 \times (1.0 + 0.0004 x) \exp(-1/2), x \text{ metreinä}$$

$$\sigma_z(x) = 0.08 \times (1.0 + 0.0015 x) \exp(-1/2).$$

Oletetaan, että pilven z ja y-suuntainen leveys on 2σ . Sovitetaan lähtöpiste Briggs-Gifford -kaavoilla siten, että pilven z,y -pinta-ala on 100 m^2 . Lähtöpisteessä annosnopeus on $0,5 \text{ mSv/h}$. Sitten haetaan etäisyys, jossa annos on $0,1 \text{ mSv/h}$ (230 m), koska pilven tilavuus on kasvanut edellä esitettyjen kaavojen perusteella. Tämä annosnopeus on operatiivinen toimenpidetaso sisälle suojautumiseen, mikäli suojautumattomalle henkilölle arvioidaan kertyvän yli 10 mSv säteilyannos kahden vuorokauden aikana (STUK 2012). Nyt kuitenkin päästö kestää vain hetken, eikä tämä annoskriteeri täyty. Ympäristön väestön eniten altistuvan henkilön onnettomuusluokan 1 vuosiannosraja 1 mSv ei ylity, eikä sisälle suojautumista tarvita.

6. Lähdeluettelo

Briggs, Gifford.

<http://dii.unipd.it/-paolo.canu/files/FdT/Point%20Source%20Dispersion%20Parameters.pdf>

ICRP Publication 119 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60.

NUREG-2125 2014. Spent fuel transportation risk assessment. Final Report. U.S.NRC.

Rossi J. 2014. FiR 1 –tutkimusreaktorin purkamisen aikana aiheutuvat ympäristön säteilyannokset. VTT-R-02972-14.

STUK 2012. VAL 1, Suojelutoimet säteilyvaaratilanteen varhaisvaiheessa, 5.0.2012.

STUK 2013. YVL-ohje D.5 (15.11.2013). Ydinjätteiden loppusijoitus. Säteilyturvakeskus.

STUK 2014a. Lausunto VTT:n tutkimusreaktorin käytöstäpoistohankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostuksesta, 42/0210/2014.

STUK 2014b. Ohje ST 7.3. Sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskeminen.

Viitanen T., Rätty A, 2012. Calculating the nuclide inventory of FiR-1 TRIGA Mk II reactor with Serpent and ORIGEN. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT-R-05511-12.