

Title	TFiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston aikana aiheutuvat ympäristön säteilyannokset
Author(s)	Rossi, Jukka
Citation	TUTKIMUSRAPORTTI : VTT-R-02972-14 VTT, 2014, pages 13.
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:

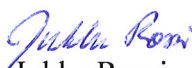


This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic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



FiR 1 –TUTKIMUSREAKTORIN KÄYTÖSTÄPOISTON AIKANA AIHEUTUVAT YMPÄRISTÖN SÄTEILYANNOKSET

Kirjoittajat: Jukka Rossi

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi FiR 1 –TUTKIMUSREAKTORIN PURKAMISEN AIKANA AIHEUTUVAT YMPÄRISTÖN SÄTEILYANNOKSET		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot	Asiakkaan viite	
Projektin nimi FiR1 YVA	Projektin numero/lyhytnimi 83436 1.2	
Raportin laatija(t) Jukka Rossi	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 13/0	
Avainsanat FiR 1, käytöstäpoisto, päästö, säteilyannos	Raportin numero VTT-R-02972-14	
Tiivistelmä <p>Tämä raportti on tarkoitettu Espoon Otaniemen tutkimusreaktorin FiR1 käytöstäpoistoon liittyvän ympäristövaikutusten arviointiraportin (YVA-raportti) taustamateriaaliksi. Käytöstäpoiston tapahtuessa suunnitelmien mukaisesti, ei merkittäviä päästöjä ympäristöön aiheudu. Raportissa tarkastellaan häiriötilannetta ja oletettua onnettomuustilannetta, jotka voisivat tapahtua ydinpolttoaineen reaktorista poiston yhteydessä tai reaktorin rakenteen purkamisen aikana. Näistä normaalista poikkeavista tilanteista oletetaan aiheutuvan radioaktiivisten aineiden päästöjä ympäristöön, mistä edelleen seuraisi ympäristössä oleskeleville henkilöille säteilyannoksia. Päästötilanteiden todennäköisyyttä ei ole arvioitu. Vahinkojen kartoitus ja estäminen tehdään tästä selvityksestä erillisenä VTT hankkeena, purkusuunnittelun edistyessä.</p> <p>Tarkasteltujen päästöjen seurauksena ympäristössä oleskelevan henkilön arvioitu annos jää pienemmäksi kuin taustasäteilyannos. Raportissa on tarkasteltu lyhyesti myös muissa pohjoismaissa tehtyjä tutkimusreaktorin purkutöihin liittyviä annosarvioita.</p>		
Luottamuksellisuus	Julkinen	
Espoo 28.10.2014 Laatija  Jukka Rossi Erikoistutkija	Tarkastaja  Petri Kotiluoto Tutkimustiimin päällikkö	Hyväksyjä  Timo Vanttola Tutkimusalueen päällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT, PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) VTT:n arkisto (1 kpl)		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Muita pohjoismaisia selvityksiä	3
2.1	Studsvik	3
2.1.1	Päästöt ja annokset normaalikäytöstä	4
2.1.2	Päästöt ja annokset onnettomuuksista	4
2.2	Risö	5
2.2.1	Päästöt ja annokset normaalikäytöstä	5
2.2.2	Päästöt ja annokset onnettomuuksista	5
3	Otaniemen FiR1 purkaminen	5
3.1	Ympäristön lähtötiedot	5
3.2	Häiriö- ja onnettomuustilanne	7
3.2.1	Häiriötilanne	7
3.2.2	Polttoaineenkäsittelyonnettomuus	9
	Lähdeviitteet	12

1 Johdanto

Tämä raportti on tarkoitettu Espoon Otaniemen tutkimusreaktorin FiR1 käytöstäpoistoon liittyvän YVA-selostuksen taustamateriaaliksi. Käytöstä poiston sujuessa suunnitelmien mukaisesti ei siitä ole odotettavissa päästöjä ympäristöön. Raportin tarkoitus on kuvata polttoaineen reaktorista poistoon ja reaktorin purkuun liittyviä tarkastellaan häiriötilannetta ja oletettua onnettomuustilannetta sekä niistä ympäristössä aiheutuvia säteilyannoksia. Sitä, miten epätodennäköisiä käsitellyt radioaktiivisten aineiden päästöt ovat, ei tässä ole arvioitu. Aluksi on tarkasteltu pohjoismaissa tehtyjä arvioita tutkimusreaktoreiden purkuun liittyvien päästöjen ympäristön säteilyvaikutuksista. Ydinpolttoaineen ja purkujätteen kuljetuksiin sekä loppusijoitukseen mahdollisesti liittyvät päästötarkastelut eivät sisälly tähän raporttiin.

2 Muita pohjoismaisia selvityksiä

Pohjoismaisia tutkimusreaktoreiden käytöstäpoistoja tarkastellaan siltä osin, mitä päästöjä ja säteilyannoksia niistä arvioitiin. Arvioinnit oli tehty ennen purkutöiden aloittamista. Arvioinneissa on eroteltu purun eteneminen normaalisti (normaalikäyttö) sekä arvioitu eräitä häiriö- ja onnettomuustapauksia. Polttoaineen käsittelyyn liittyvää onnettomuutta näissä selvityksissä ei ole käsitelty.

2.1 Studsvik

Studsvikin tutkimuslaitoksella Nyköpingin lähellä on käynnistynyt kahden tutkimusreaktorin ja niiden oheislaitteiden purku (SSM 2012). Viitteenä mainittu raportti on tarkoitettu yleisenä kuvauksena Euratomin artikla 37 silloisen ohjeistuksen mukaisesti, jonka mukaan EU:ssa esitettiin ydinreaktorin käytöstäpoiston yhteydessä säteilyvaikutusten arviointi naapurimaissa. Nykyinen menettelyohje ei edellytä Trigan tyyppisen pienen tutkimusreaktorin käsittelyä kyseisessä asiantuntijamenettelyssä. Purkutyön tarkempi kuvaus on esitetty myöhemmin luvanhaltijan hakemuksessa.

Studsvikissa molemmat reaktorit sijaitsivat samassa altaassa reaktorirakennuksen sisällä. Reaktorit suljettiin 2005 ja laitosten purkamisen on suunniteltu valmistuvan 2018. Käytetty ydinpolttoaine on jo kuljetettu Yhdysvaltoihin sopimusten mukaisesti. Rakenteiden purkamisesta seuraavien kiinteiden ja nestemäisten jätteiden varastointi tapahtuu laitoksella odottamassa loppusijoitusta. Muut viereisissä rakennuksissa sijaitsevat jätteenkäsittelylaitteistot jatkavat toimintaansa normaalisti vielä reaktorirakennusten käytöstä poiston jälkeenkin.

Käytöstäpoiston tarkoituksena on purkaa reaktorirakenteet ja oheislaitteet. Alun perin Studsvikin tarkoitus oli purkaa lopulta myös rakennukset, mutta nykyinen hallinto tutkii mahdollisuutta käyttää rakennuksia muihin, esim. jätteen varastointiin ja käsittelyyn liittyviin toimintoihin.

Radioaktiivista materiaalia on näissä laitoksissa kontaminoitumisen ja aktivoitumisen seurauksena reaktorin rakenteissa ja järjestelmissä. Rakenteiden aktiivisuutta on arvioitu laskelmin mutta lopulta se varmistetaan näytteitä mittaamalla. Pääasiassa radioaktiivinen jäte on matala-aktiivista.

2.1.1 Päästöt ja annokset normaalikäytöstä

Ruotsin säteilyturvaviranomainen määrää, että normaalikäytössä, mukaan lukien purkutyö, koitua annos ympäristössä ei saa ylittää 0,1 mSv integroituna 50 vuoden kuluessa. Koska R2 reaktorissa on käytetty jäähdytteenä raskasta vettä, josta osa on radioaktiivista HTO:a, allasta tyhjennettäessä tapahtuu höyrystymisen kautta päästöä ilmaan ja siinä korostuu tritiumin H-3 määrä. On arvioitu, että 3 GBq H-3 vapautuu piipusta ulos.

Muutoin kojeputkistoja sahataan poikki, ioninvaihtohartsit otetaan käsiteltäväksi muualla ja tehdään muita purkutoimenpiteitä. Näissä vaiheissa varaudutaan pieniin hiukkaspäästöihin ilmaan.

Annokset on laskettu eniten altistuvalla henkilöllä ja ne jäivät taustasäteilytason alapuolelle.

2.1.2 Päästöt ja annokset onnettomuuksista

Luvanhaltijan tulee tunnistaa ja analysoida mahdolliset onnettomuudet. Seuraavat onnettomuudet on esitetty:

- radioaktiivisten aineiden hallitsematon leviäminen laitoksella
- radioaktiivisten aineiden hallitsematon päästö ympäristöön
- ei-suunniteltu henkilökunnan altistuminen ja
- luvaton radioaktiivisen materiaalin käsittely.

Laitoksen turvallisuusseloste (Safety Analysis Report, SAR) sisältää analyysit, jotka voivat johtaa radioaktiiviseen onnettomuuteen, mutta jolloin laitoksen turvalaitteet ja -toiminnot toimivat suunnitellusti. Mahdollisina ympäristössä radioaktiiviseen vaikutukseen johtavina onnettomuuksina Studsvikin laitteiston purkamisen yhteydessä mainitaan:

- sähkökaapelin tulipalo,
- tulipalo katkaisutyön yhteydessä,
- radioaktiivisen jäteveden vuoto,
- laitteiston avaamisen yhteydessä ilmaan vapautuva aktiivisuus,
- aktiivisen materiaalin sisätiloissa tapahtuvan kuljetukseen aikana tapahtuva onnettomuus.

Näiden kaikkien todennäköisyys on arvioitu pieneksi tai hyvin pieneksi. Terveysvaikutus ympäristön asukkaalle arvioidaan myös pieneksi, eikä muulle ympäristölle aiheudu vahinkoa. Tämän lisäksi on riskianalyysin avulla valittu kaksi referenssionnettomuutta, joissa päästöt ovat pahempia kuin SAR-tilanteissa. Ensimmäinen on ioninvaihtohartsin tulipalo, josta seuraa päästö ilmaan. Toinen on se, kun reaktorialtaan vesi karkaa Itämereen.

Ioninvaihtohartsin tulipalossa oletetaan, että rakennuksen katto romahtaa ja kaikki isotoopit

vapautuvat ulkoilmaan. Esimerkiksi Cs-137 vapautumismäärä on 38 GBq. Viikon altistuksesta annos olisi lähistöllä hieman alle 1 mSv.

Reaktorialtaan veden karkaamisesta Itämereen aiheutuisi tritiumpäästö suuruudeltaan 1 TBq ja Co-60 päästö 0,02 GBq.

2.2 Risö

Risön tutkimusreaktorit sijaitsivat 40 km länteen Kööpenhaminasta kukin omassa rakennuksessaan. Reaktorit ovat keskenään erityyppisiä: DR1 ns. homogeeninen, DR2 kevytvesi ja DR3 raskasvesijäähdytteinen. DR1 sisälsi pallomaisen teräksestä valmistetun sydämen. DR3 perustuu paineiseen tankkiin sijoitettuun sydämeen. DR2 oli allasmainen, reaktori suljettiin jo 1975 ja käytetty polttoaine kuljettiin Yhdysvaltoihin. Reaktori ja sen jäähdytyspiiri suljettiin ja reaktorihallia käytettiin muihin tarkoituksiin aina vuoteen 1997 asti, jolloin lopullinen käytöstäpoiston suunnittelu aloitettiin. Jäännösaktiivisuutta oli eniten reaktorin teräskomponenteissa, säteilyputkissa sekä jossain määrin betonisuojuksissa. DR2:n purku tapahtui 2006-2008 (HUR 2003, Lauridsen ym. 2010).

2.2.1 Päästöt ja annokset normaalikäytöstä

Ennen purkutyön aloitusta raportissa (HUR 2003) arvioitiin, että DR2:n purkamisen aikana aiheutuva vuosiannos lähiympäristössä ei poikkeaisi siitä annoksesta, joka saatiin laitoksen normaalikäytöstä ennen 1975 eli alle 0,01 mSv/vuosi.

2.2.2 Päästöt ja annokset onnettomuuksista

DR2 reaktorihallissa säilytettiin 200 litran tynnyrissä raskasta vettä, jonka päästöä (H-3 60 TBq) mereen myös arvioitiin. Annosarvioksi saatiin Tanskassa Risön lahden alueella 0,002 mSv veden kautta ja kalan kautta 0,00008 mSv (Hedeman 2002).

3 Otaniemen FiR1 purkaminen

Seuraavassa esitetään laskentamenettely ja tulokset Otaniemen tutkimusreaktorin purkuun liittyvien mahdollisten päästöjen aiheuttamien säteilyannosten arvioinnissa.

3.1 Ympäristön lähtötiedot

Tässä selvityksessä ympäristön yksilön säteilyannos koostuu kolmesta altistusreitistä: suora ulkoinen säteily pilvestä, suora ulkoinen säteily laskeumasta sekä sisäinen altistus hengitetystä radioaktiivisesta materiaalista. Ilmaan uudelleen pölyävän kuivan aineksen (resuspensio) aiheuttamaa hengitysannosta ei ole käsitelty, koska kyseisen altistusreitin merkitys katsotaan yleensä vähäiseksi suomalaisissa olosuhteissa kasvillisuudesta ja

mahdollisesta lumipeitteestä johtuen. Annosta rajoittavia vastatoimenpiteitä ei sisälly laskentaan.

1) Päästöpilvestä tuleva säteily:

Henkilöiden suojauskertoimen arvona käytetään lukua 1, joka tarkoittaa, että henkilö oleskelee ulkona, kun päästöpilvi kulkee ohi.

2) Laskeumasta tuleva ulkoinen säteily:

Koska tässä altistus kestää pitkään, suojauskerroin eli todellisen säteilyannoksen suhde täysin suojaamattomasti saatavaan säteilyannokseen on kaikissa henkilöannosten tapauksissa 0,3. Laskentaperuste on seuraava: Oletetaan ydinjätelaitosten ympäristössä vallitsevan seuraavat suojauskertoimet ulkoiselle laskeumasta tulevalle säteilylle:

- ulkona	0,7
- pientalossa	0,4
- kerrostalossa	0,1

Lisäksi oletetaan, että henkilöt oleskelevat 10 % ajastaan ulkona ja 90 % sisällä. Oletetaan, että 40 % väestöstä asuu pientaloissa ja 60 % kerrostaloissa, jolloin saadaan

$$0,1 \cdot 0,7 + 0,36 \cdot 0,4 + 0,54 \cdot 0,1 = 0,3.$$

Altistuksen kokonaiskestoajaksi oletetaan 1 vuosi.

3) Hengityksen kautta tuleva sisäinen säteilyannos:

Suojauskerroin on 1 eli ei oleteta lainkaan suojausta. Hengitysnopeudeksi oletetaan 22,2 m³/vrk (ICRP 1995). Annoskertoimet ovat viitteestä (STUK 1999b).

Laskenta-alueen väestöjakauma on esitetty taulukossa 1 (VTT 2010). Koska reaktoria käytetään pääasiallisesti päiväsaikaan, käytetään laskennassa päiväväestön määrää. Otaniemen päiväväestön tilastollista määrää voidaan pitää yliarviointina. Tämä johtaa kollektiivisen annoksen yliarviointiin.

Taulukko 1. Otaniemen laskenta-alueen väestöjakauma (VTT 2010). Päiväväestö (suluissa yöväestö). Päiväväestö = alueella asuvat - alueella asuvat työlliset + alueella työssäkäyvät. Yöväestö = alueella asuvat

Alue	Väestömäärä	Tiheys henkeä/km ²
500 m:n säteellä	17 656 (2 197)	22 636 (2 809)
Renkaalla 0,5...1,5 km	14 697 (4 956)	2 340 (790)
Renkaalla 1,5...3 km	32 060 (29 379)	1 512 (1 385)

Sääaineisto koostuu tunnittaisesta meteorologisesta tuulensuunnasta (vastakkainen leviämisseuunnalle), tuulennopeudesta sekä Pasquillin stabiiliusluokasta. ARANO-ohjelmaa varten sääaineisto muutetaan jakaumaksi, joka koostuu tuulensuunnan esiintymistäajuudesta kahdessatoista 30-asteen sektorissa, stabiiliusluokkien esiintymistäajuudesta sektoreissa, tuulennopeusluokkien esiintymistäajuudesta stabiiliusluokissa sektoreittain sekä sateen esiintymistäajuudesta stabiiliusluokittain.

3.2 Häiriö- ja onnettomuustilanne

Tarkastellaan kahta erityyppistä oletettua päästötilannetta, joista toinen on häiriö ja toinen polttoaineenkäsittelyonnettomuus sekä niistä seuraavia ympäristön säteilyannoksia. Laajemmin mahdollisia poikkeavia tilanteita ja niiden estämistä käsitellään erillisessä riskitarkastelussa.

3.2.1 Häiriötilanne

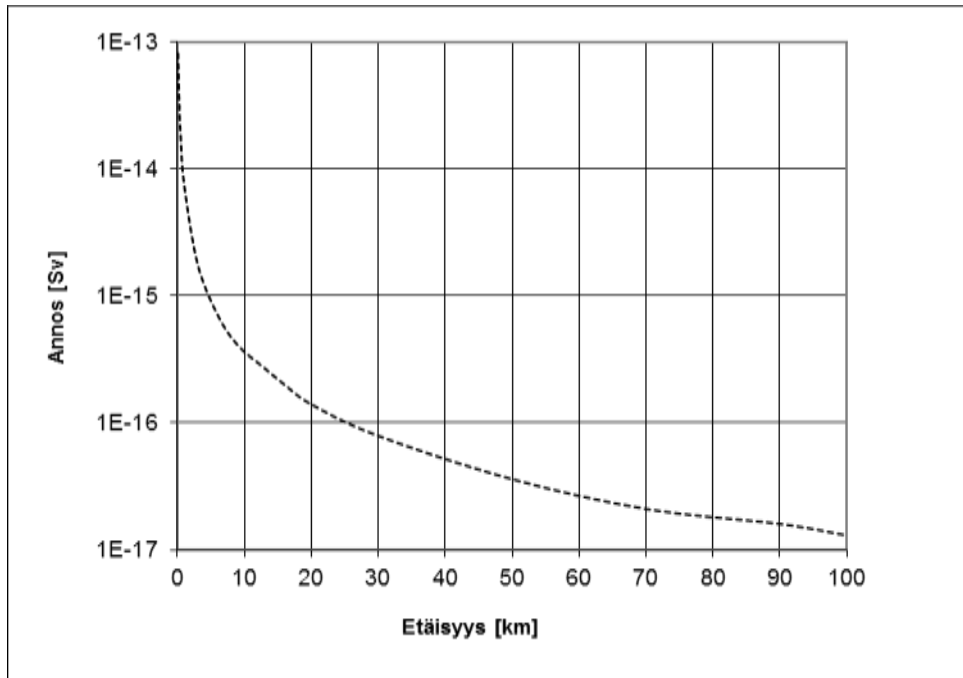
Säteilysuojana käytettyä betonia joudutaan paloitlemaan ja siinä yhteydessä on odotettavissa, että ilmaankin voi vapautua aktivoitumistuotteita. Alustavasti on arvioitu, että betoni sisältää ainakin Co-60, Eu-152 ja Eu-154 isotooppeja. Isotoopeista saadaan tarkempi arvio vasta, kun polttoaine on poistettu reaktorista ja purettavista rakennemateriaaleista otettuja näytteitä on analysoitu. Myös muita reaktorin rakennemateriaaleja tullaan purkamaan niin, että ne sopivat kuljetuslaatikoihin.

Käytännössä työskentelykohde tultaneen eristämään ilmastoidulla teltalla, jonka sisällä pidetään alipaine. Työskentely teltan sisällä tapahtuu tarvittaessa hengityssuojaimilla varustetuissa suojavarusteissa. Ilmassa oleva pitoisuus ei saa ylittää ns. DAC (Derived Air Concentration) rajaa. DAC on radionuklidin keskimääräinen aktiivisuuspitoisuus, jossa voidaan oleskella tai työskennellä (työssääoloaika 2 000 tuntia vuodessa) annosrajoja ylittämättä (STUK 2007).

Oletettu häiriötilanne syntyy, kun purkutyön yhteydessä alipaineistettu työskentelysuoja menettää tiiviytensä ja sen sisällä ilmassa oleva radioaktiivinen materiaali vapautuu huonetilaan ja edelleen ilmastoinnin kautta ulos.

Oletetaan, että ollaan purkamassa reaktorin teräsosia, joissa on Co-60 isotooppia ja sitä on vapautunut teltan ilmatilaan DAC-arvoa vastaava pitoisuus. DAC saadaan jakamalla ALI (Annual Limit on Intake) $7,5 \cdot 10^5$ Bq (STUK 1999a) hengitetyn ilman määrällä 2400 m^3 eli normaali työvuosi voitaisiin työskennellä tuossa pitoisuudessa ylittämättä säteilytyöntekijän annosrajaa. DAC:in arvoksi saadaan 290 Bq/m^3 . Arvioidaan teltan kooksi 50 m^3 , jolloin Co-60 isotoopin kokonaismäärä on $1,5 \cdot 10^4$ Bq. Oletetaan tämän määrän vapautuvan ilmastointipiipun kautta ulos jo yhdessä tunnissa ja lasketaan ympäristössä aiheutuva säteilyannos. Todellisessa tilanteessa ilman poisto voidaan lopettaa.

Kuvassa 1 on esitetty yksilöannos etäisyyden funktiona. Viitteen STUK 2012 mukaisesti se on laskettu kokonaisannoksen 95 %:n yläfraktiilista.



Kuva 1. Yksilön vuosiannos etäisyyden funktiona häiriötilanteessa. Annos edustaa 95 %:n fraktiilin arvoa.

Kuvan 1 mukaan yksilöannos jää hyvin pieneksi. Aivan reaktorirakennuksen vieressä annos on luokkaa $1 \cdot 10^{-10}$ mSv. Arvoa voidaan verrata taulukon 2 arvoihin.

Taulukko 2. Esimerkkejä säteilyannoksista (lähde: STUK)

Annoksen suuruus [mSv]	Kuvaus
0,00005	Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitosten lähiympäristön väestön eniten altistuneen ryhmän ydinvoimalaitoksen päästöistä johtuva laskennallinen säteilyannos vuonna 2007
0,01	Yhdestä hammasröntgenkuvauksesta potilaalle aiheutuva annos
0,018	Edestakaisella lennolla Helsingistä Roomaan saatava kosmisen säteilyn annos
0,08	FiR 1 –tutkimusreaktorin normaalikäytön Ar-41:n päästöistä ympäristössä aiheutuva säteilyannos vuonna 2009 (Rossi J. 2011)
0,1	Keuhkojen röntgenkuvauksesta potilaalle aiheutuva annos
0,2	Mammografiasta (rintojen röntgentutkimuksesta) tutkittavalle aiheutuva annos
0,3	Suomalaisten kosmisesta säteilystä vuodessa saama annos
0,8	Yli kahden kilometrin korkeudessa sijaitsevan Mexico Cityn asukkaiden kosmisesta säteilystä saama annos vuodessa
3,7	Suomalaisen keskimääräinen vuotuinen säteilyannos
50	Säteilytyöntekijälle suurin sallittu vuoden aikana aiheutuva annos (vuonna 2007 suurin suomalaisen ydinvoimalaitostyöntekijän saama säteilyannos oli alle 12 mSv)
100	Säteilytyöntekijälle suurin sallittu viiden vuoden aikana aiheutuva annos (vuosien 2003–2007 välisenä aikana ydinvoimalaitoksen työntekijän saama suurin yhteenlaskettu säteilyannos Suomessa oli alle 65 mSv)
1000	Alle vuorokauden aikana saatuna annoksena aiheuttaa säteily sairauden oireita
6000	Äkillisesti saatuna henkilön kuolemaan johtava annos

3.2.2 Polttoaineenkäsittelyonnettomuus

Polttoainetta reaktorista poistettaessa oletetaan tapahtuvan hallitsemattoman virheen, jonka seurauksena polttoaineen siirtosäiliö putoaa reaktorialtaassa ja viisi polttoainesauvaa

rikkoontuu veden alla. Tällöin oletetaan, että osa sauvan sisältämistä radioaktiivisista aineista vapautuu veteen. Tässä törmäyksestä aiheutuvana vapautumisosuutena käytetään termiä IRF (instant release fraction) sen vapautumisosuuden kuvaamiseen, jonka arvioidaan vapautuvan polttoainesauvasta, kun ydinjätteen loppusijoituskapseli vaurioituu loppusijoitustilan kallioperässä ja vesi pääsee kapselin sisään (Johnson ym. 2012). Tällöin oletetaan konservatiivisesti, että polttoainesauvan kaasuaukossa oleva osuus sauvan inventaarista vapautuu nopeasti sauvan ulkopuolelle vaikka todellisuudessa tämä prosessi veisi huomattavasti pidemmän ajan. IRF sisältää myös raerajoilla, polttoaineen halkeamissa ja rimkerroksessa olevan pitoisuuden vapautumisen. Olennaista tässä on veden vaikutus vapautumiseen vaikuttavana tekijänä. Siten voidaan arvioida, että IRF-arvot sopivat tilanteeseen, jossa polttoainevuoto tapahtuu veden alla.

Polttoaineen siirtosäiliön putoaminen voidaan estää esim. turvavaijereilla, jotka estävät putoamisen, mikäli säiliö irtoaisi nostolaitteesta.

Inventaari ja päästö

Polttoainesauvan inventaarina käytetään lähteessä (Viitanen & Rätty 2012) esitettyä suurimman palaman omaavan sauvan isotooppikohtaista inventaaria, joka laskentaa varten kerrotaan luvulla 5, koska viisi sauvaa oletetaan rikkoontuvan. Lisäksi inventaarissa otetaan huomioon kahden viikon jäähtymisaika. Taulukossa 3 on esitetty päästön laskentaan liittyvät tiedot.

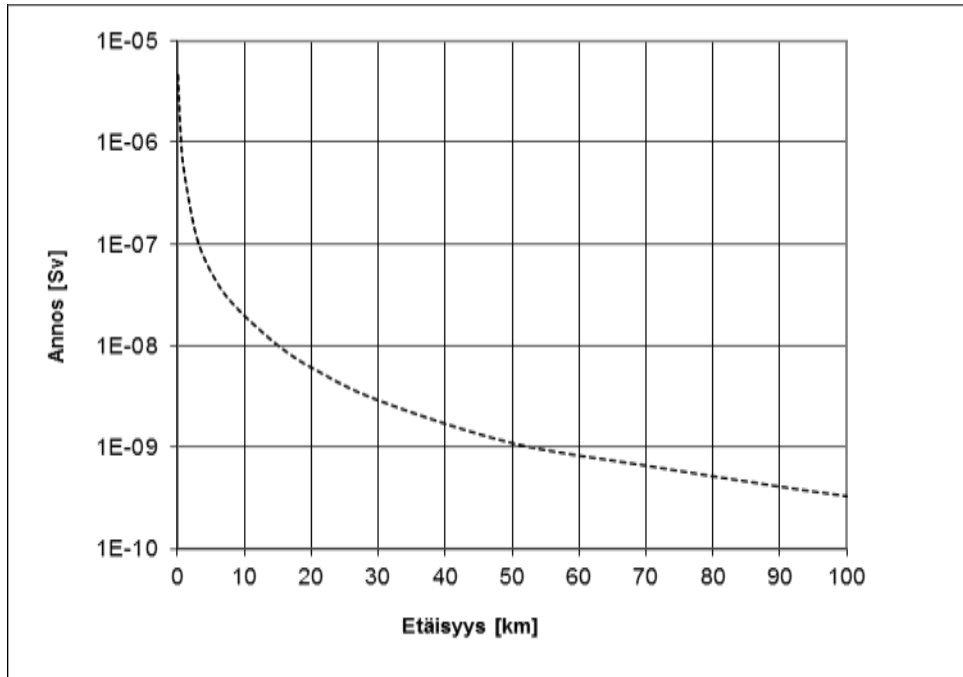
Taulukko 3. Polttoaineenkäsittelyonnettomuuteen liittyvät päästöt.

Nuklidi	Instant Release Fraction (IRF)	Pidättyminen allasveteen [%]	Päästö ulos [Bq]
H-3	0,1	0	8,0E+08
Se-79	0,005	99	1,7E+02
Kr-85	0,1	0	1,3E+10
Sr-90	0,01	99	2,3E+08
Tc-99	0,002	99	1,2E+04
Te-132	0,005	99	4,7E+07
I-129	0,05	99	4,8E+02
I-131	0,05	99	1,0E+09
Xe-133	0,1	0	2,8E+11
Xe-135	0,1	0	2,1E+01
Cs-134	0,05	99	2,4E+07
Cs-135	0,05	99	2,3E+04
Cs-136	0,05	99	1,5E+07
Cs-137	0,05	99	1,2E+09
Ba-140	0,01	99	5,1E+08

Hiukkasmaisista aineista oletetaan pidättyvän reaktorialtaan veteen 99 %, mitä ei oleteta kaasumaisille aineille. Vapauduttuaan reaktorirakennukseen, oletetaan, että päästöt ohjautuvat ulos ilman depositiota pinnoille ja ilman suodatusta. Oletetaan reaktorirakennuksen ilmanvaihdon nopeudeksi kerta tunnissa eli päästö kestää tunnin. Päästökorkeutena käytetään reaktorirakennuksen poistopiipun korkeusarvoa 19 metriä.

Tulokset

Kuvassa 2 on esitetty yksilöannos etäisyyden funktiona. Viitteen STUK 2012 mukaisesti se on laskettu kokonaisannoksen 95 %:n yläfraktiilista.



Kuva 2. Yksilön vuosiannos etäisyyden funktiona polttoaineenkäsittelyonnettomuudessa. Annos edustaa 95 %:n fraktiilin arvoa.

Etäisyydellä 100 metriä reaktorirakennuksesta aiheutuva annos on 0,005 mSv ja esimerkiksi 20 kilometrin etäisyydellä 0,000006 mSv eli lähes tuhannesosan pienempi. Kokonaisannoksesta 70-80 % tulee ulkoisesta säteilystä maahan laskeutuneesta radioaktiivisesta materiaalista.

Kolmen kilometrin säteellä reaktorista aiheutuvan väestöannoksen odotusarvo on 8 mmanSv ja 95 %:n fraktiilin arvo 16 mmanSv vuodessa.

Lähdeviitteet

Hedeman P. 2002.

http://www.risoe.dk/rispubl/NUK/nukartikler/pdfartikler/Presentation_Baltic_PHJ.pdf

HUR 2003. Dekommissionering af Risø's nukleare anlæg. Regionplantillæg til Regionplan 2001 for Hovedstadsregionen Retningslinjer og VVM-Redegørelse.

ICRP 1995. ICRP Publication 71. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 inhalation Dose Coefficients.

Ilvonen, M. 1994. Ilmakehään päässeiden radioaktiivisten aineiden leviämistä simuloivien ja niistä aiheutuvia säteilyannoksia laskevien ohjelmistojen kehittäminen. Espoo. 119 s. Diplomityö, TKK, Tietotekniikan osasto.

Johnson, L., Günther-Leopold, I., Kobler Waldis, J., Linder, H. P., Low, J., Cui, D., Ekeröth, E., Spahiu, K., Evins, L. Z. 2012, Rapid aqueous release of fission products from high burn-up LWR fuel: Experimental results and correlations with fission gas release, Journal of Nuclear Materials 420 (2012) 54–62

Lauridsen K., Strufe N. 2010. Decommissioning of the Danish 5 MW research reactor DR2. NKS, Decommissioning Conference, 14-16.9.2010, Studsvik, Sweden.

http://www.nks.org/download/nks_r_decom_sem_september12_16_2010/06/paper.pdf

Rossi J. 2011. FiR 1 –tutkimusreaktorin normaalikäytön Ar-41:n päästöstä aiheutuvat ympäristön säteilyannokset vuonna 2009. VTT-R-02644-11.

Savolainen, I., Vuori, S. 1977. Assessment of risks of accidents and normal operation at nuclear power plants. Technical Research Centre of Finland, Electrical and Nuclear Technology, Publication 21, Espoo. 23 s. + liitt. 15 s.

SSM 2012. Swedish Radiation Safety Authority. Decommissioning of the Nuclear Reactors R2 and R2-0 at Studsvik, Sweden– General Data as called for under Article 37 of the Euratom Treaty. 2012:31.

STUK.1999a. Ohje ST 6.2. Radioaktiiviset jätteet ja päästöt. Säteilyturvakeskus.

STUK.1999b. Ohje ST 7.3. Sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskeminen. Säteilyturvakeskus.

STUK 2007. Ohje ST 7.2. Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet, 9.8.2007.

STUK 2012. Ohjeluonnos YVL C.4. Ydinvoimalaitoksen ympäristön säteilyturvallisuus. Säteilyturvakeskus.

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 2010. FiR 1 -tutkimusreaktorin käyttölupahakemus, 30.11.2010. Liite 2: Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä.