

Fukushima reaktorifyysikon näkökulmasta

Jaakko Leppänen / VTT

ATS Jäsentilaisuus 26.4.2011

Sisältö

- 1) Yllätysmatka Japaniin Suomen suurlähetystön asiantuntijavieraaksi:
 - Tilanne Fukushimassa ennen lähtöä
 - Tiedotus paikan päällä

- 2) Reaktorifyysikon näkökulmia Fukushima onnettomuuteen

Oma tausta

Koulutus - TKK / Teknillinen fysiikka:

Diplomi-insinööri 2002

Tekniikan lisensiaatti 2004

Tekniikan tohtori 2007

Työ:

VTT:n reaktorifysiikkatiimissä tutkijana vuodesta 2001 alkaen

Pääasiallinen työtehtävä “Serpent” Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehittäminen¹

Vierailevana tutkijana Oak Ridge National Laboratoryssa, USA:ssa
2009-2010

¹) Serpent on vuodesta 2004 lähtien kehitetty, stokastiseen Monte Carlo -menetelmään perustuva neutronien kulkeutumista ja reaktorifysiikkaa mallintava laskentakoodi, jolla on n. 60 käyttäjää 45 organisaatiossa 20 maassa. Kehitystä on rahoitettu pääasiassa kansallisista SAFIR ja SAFIR2010 -tutkimusohjelmista, ja uudessa SAFIR2014 -ohjelmassa kehitykselle on varattu oma KÄÄRME-projekti, laajuudeltaan n. 16 htkk / vuosi.

Tilanne Fukushimaa ennen lähtöä

Lyhyt yhteenveto aikaisemmista tapahtumista:

- Japaniin iskee perjantaina 11.3.2011 klo 14:45 yksi maan historian voimakkaimmista maanjäristyksistä
- Maanjäristys laukaisee pikasulun neljän ydinvoimalan (Fukushima Daiichi & Daini, Onagawa ja Tokai) 11 reaktorissa
- Maanjäristyksen aiheuttama tsunami iskee Fukushima Daiichiin 55 minuuttia myöhemmin, ja laitoksen yksiköt 1-4 jäävät kokonaan ilman sähköä
- Yksiköiden 1-3 käytössä olleiden reaktoreiden jäähdytys putoaa akkusähkön ja passiivisten järjestelmien varaan, ja suojarakennukset jäävät kokonaan ilman jäähdytystä
- Nelosyksikön reaktorissa ei ole polttoainetta

Tilanne Fukushimaa ennen lähtöä

Lyhyt yhteenveto aikaisemmista tapahtumista:

- Jäätymään ilman ulkoista jäähdytystä, lämpötilat ja paineet suojarakennusten sisällä jatkavat nousuaan, ja reaktoreiden passiiviset jäähdytysjärjestelmät pettävät yksitellen:

1-yksikkö: 11.3. klo 16:36

3-yksikkö: 13.3. klo 02:44

2-yksikkö: 14.3. klo 13:25

- Ylikuumeneminen johtaa polttoainevaurioihin, ja suojakuoren hapettumisreaktio vapauttaa vetyä
- Suojarakennusten painetta joudutaan alentamaan päästämällä höyryä ulos, ja reaktorirakennuksen ilmatilaan höyryn mukana karannut vety aiheuttaa räjähdyksiä jokaisella laitosyksiköllä (12.3., 14.3. ja 15.3.)

Tilanne Fukushimaa ennen lähtöä

Lyhyt yhteenveto aikaisemmista tapahtumista:

- Akuutein onnettomuustilanne alkaa vakiintumaan sen jälkeen kun reaktoreihin saadaan syötettyä merivettä ulkoisella pumppauksella:
 - 1-yksikkö: 12.3. (reaktori 27 tuntia ilman vesikiertoa)
 - 3-yksikkö: 13.3. (reaktori 7 tuntia ilman vesikiertoa)
 - 2-yksikkö: 14.3. (reaktori 7 tuntia ilman vesikiertoa)
- Vakavia polttoaineaurioita tiedetään tapahtuneen, mutta reaktoreiden tilasta tai jäähdytettävyydestä ei ole tarkempaa tietoa
- Huomio kääntyy seuraavaksi kolmos- ja nelosyksikön polttoainealtauksiin
- USA:n turvallisuusviranomaisen tekee 16.3. tilannearvion, jonka mukaan nelosyksikön polttoainealtaassa ei ole ollenkaan vettä (epäily osoittautuu myöhemmin vääräksi)

Yllätyslähtö Japaniin 17.3.

- Japanissa asuu ja oleskelee maanjäristyksen sattua yli sata Suomen kansalaista
- Ulkoministeriö pyytää STUK:ia lähettämään säteily- ja reaktorifysiikan asiantuntijoita Suomen suurlähetystön tueksi Japaniin
- STUK:sta pyyntö välitetään VTT:lle, ja torstaina 17.3. n. klo 14 esimies pyytää minua lähteään viiden koneella Tokioon
- Tapaan STUK:n säteilyasiantuntijan lentokentällä, ja saamme tiedon että suurlähetystö aikoo siirtää henkilöstönsä väliaikaisesti Hiroshimaan
- Lennon kohde vaihtuu Tokiosta Osakaan, mihin saavumme perjantaiamuna
- Tapaamme lauantaina suurlähettilään Kiotossa, ja siirrymme sunnuntaina Hiroshimaan
- Paluulippu Suomeen on varattu perjantaille 25.3.

Japanin koneeseen noustessa koko matkan tarkoitus oli edelleen jossain määrin epäselvä

Täällä ollaan, mitä nyt?

- Japaniin saapumisen aikoihin tilanne Fukushimassa on todella epäselvä, ja erityisesti nelosyksikön polttoainealtaan tilasta liikkuu paljon ristiriitaista tietoa
- Suurlähetystö on hoitanut omaa tiedotustaan Facebook-yhteisöpalvelun kautta, joten päätämme käyttää samaa lähestymistapaa ja improvisoida loput
- Facebook-keskustelun lisäksi laadimme viikon aikana kolme tiedotetta:
 - 1) Yleistä asiaa siitä mitä on tapahtunut, ja miksi
 - 2) Paineenalennuspuhallukset ja niiden mukana vapautuneet päästöt
 - 3) Yleisohjeita säteilytilanteen seuraamiseen
- Omia tietolähteitä: STUK, Japanin viranomaisen ja TEPCO:n www-sivut, media

Tiedotus paikan päällä

- Facebook-tiedotuksen hyviä ja huonoja puolia:
 - Japanissa asuva suomalaisyhteisö oli tottunut seuraamaan suurlähetystön Facebook-sivua, joten tiedotus tavoitti kerralla paljon ihmisiä joita asia koski
 - Kaikkia keskusteluja ei pääse lukemaan ilman rekisteröitymistä
 - Palvelun toteutus on tekniseltä tasoltaan epäluotettava ja heikko
- Esimerkkejä keskusteluissa esiin nousseista kysymyksistä:

“Onko mahdollista että nelosreaktorin käytetty polttoaine voisi aiheuttaa ydinräjähdysten?”

“Mitä tapahtuu jos polttoaine sulaa ja valuu painekattilan pohjalle?”

“Olisiko Tokiossa pahimmassakaan tapauksessa vaarallista asua?”

“Annosnopeus 120 km Fukushimasta etelään näyttää kohonneen yli 0.83 mSv/h, voisitko kommentoida tietoa?”

“Onko Tokion juomavettä mahdollista suodattaa juomakelpoiseksi, ja minkälaista suodatinta suosittellette?”

Tiedotus paikan päällä

- Omia huomioita ihmisten reaktioista:
 - Japanissa asuvien suomalaisten suhtautuminen tilanteeseen oli erittäin asiallista ja maltillista
 - Facebook-keskustelussa keskityttiin meneillään olevaan kriisiin, eikä viety keskustelua ydinvoimaväittelyn tasolle
 - Tilanteen vakavuutta ei kuitenkaan välttämättä täysin ymmärretty, ja ihmisiä joutui välillä muistuttamaan siitä että 200 km päässä Tokiosta on neljä vakavaa ydinonnettomuutta edelleen käynnissä
 - Asiantuntijoiden “läsnäolo” saattoi olla keskustelun asiasisältöä tärkeämpi viesti
- Huomioita median toiminnasta:
 - Suomen median uutisointi vaihteli asiallisesta ala-arvoiseen, ja ensimmäisen viikon jälkeen Fukushima unohtui ja hävisi otsikoista lähes kokonaan
 - Paras medialähde oli Japanin NHK
 - Kaikkein parhaiten ajankohtaista tietoa sai kuitenkin kysymällä suoraan STUK:sta

Reaktorifyysikon näkökulmia Fukushima onnettomuuteen

- Onnettomuusreaktoreideiden reaktorifysiikka katkesi maanjäristystä seuranneeseen pikasulkuun paljon ennen ensimmäisiä polttoainevaurioita
- Mitä näkökulmaa reaktorifyysikolla voi olla tapahtumien kulkuun?

1) Voiko ketjureaktio käynnistyä uudestaan vaurioituneessa reaktorissa tai polttoainealtaassa?

2) Mitä päästöistä mitattu radionuklidikoostumus kertoo tapahtumien kulusta?

Uudelleenkriittisyyden mahdollisuus

- Reaktorissa tai polttoainealtaissa olevan polttoaineen sulaminen tai vaurioituminen voi tietyissä olosuhteissa johtaa tilanteeseen jossa ketjureaktio lähtee uudestaan käyntiin
- Kriittisyyslaskuihin on olemassa tehokkaita työkaluja, mutta tilanteen suora analysointi on mahdotonta, sillä laskenta edellyttää tuhoutuneen geometrian tarkkaa tuntemista
- Onko uudelleenkriittisyydestä ollut merkkejä?
 - *Kyodo News: “neutronisuihkuja” havaittu 13.-16.3. välisenä aikana 1.5 km päässä laitosalueesta*
 - *BBC News: kriittisysepäily nelosyksikön polttoainealtaassa 16.3. polttoainenäppäjen paljastumisen yhteydessä*
- Em. uutiset jäivät ilman jatkoa

Uudelleenkriittisyyden mahdollisuus

- Uudelleenkriittisyydestä on ollut jonkin verran myös epäsuoria merkkejä
- Ykkösyksikön turbiinihallista löydettiin lauantaina 26.3. korkea pitoisuus kloorin isotooppia Cl-38, jota voi syntyä ainoastaan meriveden suolan neutroniaktivaatiossa:
 - *Suuruusluokka-arviona tehdyt aktivoitumislaskut osoittivat että polttoaineen spontaani fissio ei riitä tuottamaan riittävää neutronivuota, vaan jos tulos pitää paikkansa, kyse täytyy olla uudelleen käynnistyneestä ketjureaktiosta*
 - *Laskut näyttivät kuitenkin myös sen, että Cl-38:n lisäksi veteen olisi pitänyt syntyä merkittävästi kahta muutakin radionuklidia: Cl-36 ja Na-24*
 - *Eryyisesti Na-24:n puuttuminen herätti epäilyksiä mittausten oikeellisuudesta, eikä tuloksista ole sen koommin kuultu*

Uudelleenkriittisyyden mahdollisuus

- Sunnuntaina 27.3. TEPCO ilmoitti löytäneensä kakkosyksikön kellarista vettä josta mitattiin 2.9 TBq lyhytikäistä jodin isotooppia I-134:
 - *Laskujen mukaan ilmoitetun I-134/131 -aktiivisuussuhteen syntyminen olisi edellyttänyt epärealistisen korkeaa tehoa suhteellisen pitkän aikaa*
 - *TEPCO veti uutisen myöhemmin takaisin ja kertoi että kyse oli virheellisestä mittaustuloksesta*
- Virheelliseksi osoittautuneiden mittaustulosten jälkeen isotooppikoostumuksista on kerrottu selvästi varovaisemmin
- Se, onko uudelleenkriittisyyttä tapahtunut vai ei, on ilmeisesti edelleen epäselvää

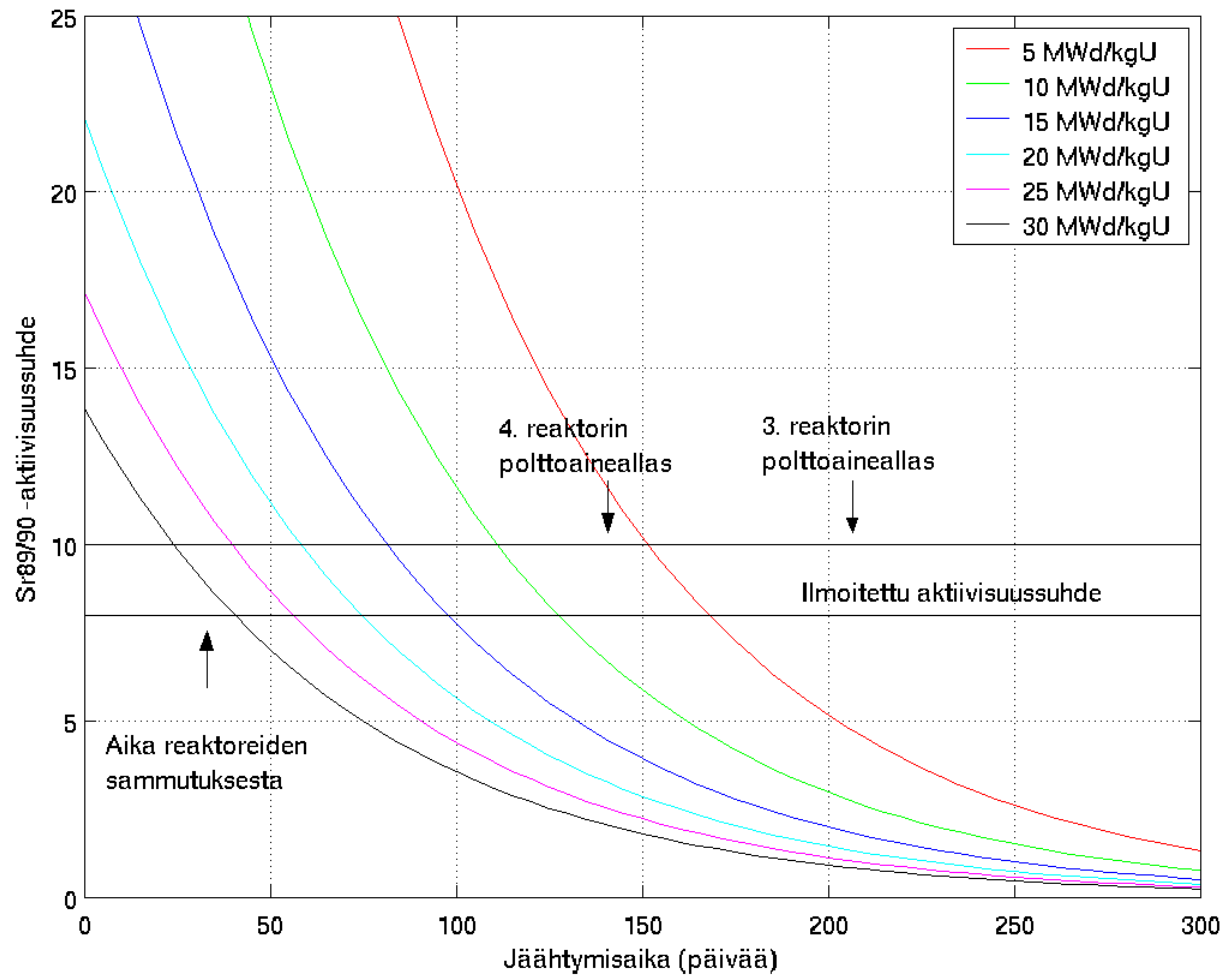
Mitä päästöistä mitatut radionuklidikoostumukset kertovat?

- Mahdollisen uudelleenkriittisyyden lisäksi päästöistä mitatut radionuklidit voivat kertoa paljonkin tapahtumien kulusta:
 - *Onko päästö peräisin reaktorista vai polttoainealtaasta?*
 - *Miten vanhasta polttoaineesta päästö on peräisin? (palama ja jäähdytysaika)*
 - *Miten pahasti polttoaine on vaurioitunut?*
- Erityisen hyödyllisiä ovat tiedot isotooppisuhteista, sillä saman alkuaineen eri isotoopit käyttäytyvät onnettomuustilanteessa samalla tavalla, ja erilaisista hajoamisnopeuksista päästään käsiksi onnettomuuden alkuhetkeen
- Lähdetermien selvittäminen vaatii kuitenkin ongelman ratkaisua “lopusta alkuun päin”
- Tiettyjen isotooppisuhteiden laskenta (esim. cesiumin isotoopit) sisältää niin paljon epävarmuuksia että tulokset eivät välttämättä kerro mitään tapahtumien kulusta

Käytännön esimerkki: Sr-89/90 -isotooppisuhde

- Strontiumin vapautuminen polttoaineesta edellyttää huomattavasti cesiumia ja jodia korkeampaa lämpötilaa, ja suuren strontium-aktiivisuuden löytyminen voi olla merkki esim. polttoaineen sulamisesta
- 14.4. japanilaiset ilmoittivat mitanneensa ympäristönäytteistä Sr-89 ja Sr-90 -isotooppien aktiivisuussuhteeksi 8-10:1
- Sr-89:n puoliintumisaika on n. 50 päivää ja Sr-90:n puoliintumisaika 30 vuotta
- Cesiumin isotoopeista poiketen Sr-89:n ja -90:n tuotto riippuu melko suoraviivaisesti polttoaineen palamasta, joten vapautumistilanne on suhteellisen helppo haarukoida muutamalla palamalaskulla

Käytännön esimerkki: Sr-89/90 -isotooppisuhde



Kiitos mielenkiinnosta!