

16.5.2011

Fukushima Dai-ichi -ydinvoimalaitoksen onnettomuus**1 Sendai-Tohokun maanjäristys**

Japanin Honshun saaren itäpuolella tapahtui 11.3.2011 klo 14:46 paikallista aikaa (07:46 Suomen aikaa) voimakas maanjäristys. Helsingin yliopiston Seismologian instituutin tietojen mukaan järistyksen keskus sijaitsi meren alla n. 130 km Sendain kaupungista itään pisteessä 38.322°N, 142.369°E. Järistyksen voimakkuus (magnitudi) oli 9,0 ja syvyys 32 km. Pääjäristystä edelsi useita magnitudiltaan yli viiden järistyksiä ja sitä on seurannut useita satoja magnitudiltaan yli viiden jälkijäristyksiä. Yhdysvaltain geologisen tutkimuskeskuksen luettelon mukaan maailmassa tunnetaan vain kolme Sendai-Tohokun järistystä voimakkaampaa maanjäristystä.

Japanista saatujen tietojen mukaan maanjäristykset eivät näytä aiheuttaneen merkittäviä vaurioita alueen ydinvoimalaitoksille. Lähimpänä maanjäristyskeskusta oli Onagawan ydinvoimalaitos, jossa oli kolme ydinvoimalaitosyksikköä tuotantokäytössä. Nämä yksiköt pysähtyivät suunnitellusti suojausautomaatiikan ohjaamana, ja ne on pystytty pitämään turvallisessa tilassa siitä alkaen, kuten myös muut lähellä olleet laitokset lukuun ottamatta tsunamin seurauksena tuhoutuneita Fukushima Dai-ichin yksiköitä 1-4. Muut laitokset ovat Fukushima Dai-ichin yksiköt 5 ja 6, Fukushima Dainin kaikki neljä yksikköä sekä vain yhden yksikön käsittävä Tokai.

Suurimmat Fukushiman laitoksilla mitatut maaperän kiihtyvyydet olivat vaakasuunnassa 0,55 g ja pystysuunnassa 0,30 g ja ne kestivät enimmillään alle 3 minuuttia. Laitoksille asetetut vastaavan kohdan kestävyysvaatimukset ovat vaakasuunnalle 0,438 g ja pystysuunnalle 0,420 g.

Fukushima Dai-ichin yksiköiden 1-4 vauriot johtuivat maanjäristyksen synnyttämästä voimakkaasta tsunamista. Maanjäristys tapahtui alueella, jossa Tyynen meren laatta törmää Euraasian laattaan ja painuu sen alle. Alueen maanjäristyksille on tyypillistä, että niihin saattaa liittyä pystysuuntaisia siirroksia. Valtameren alla pystysuuntaiset siirrokset panevat liikkeelle suuria vesimassoja, jotka aiheuttavat tsunamiaallon. Avomerellä aalto on matala, muutamia kymmeniä senttimetrejä, mutta aallon saavuttaessa matalan rannikkoveden sen nopeus hidastuu ja aallon korkeus kasvaa voimakkaasti. Sendai-Tohokun maanjäristyksen aiheuttaman tsunamiaallon korkeus oli laajoilla alueilla yli 10 metriä ja paikoin huomattavasti korkeampi.

2 Tapahtumien kulku Fukushima Dai-ichi voimalaitoksella

Fukushima Dai-ichin kaikki yksiköt ovat kiehutusvesireaktoreja. Alla olevassa taulukossa on esitetty yksiköiden perustietoja:

Laitosyksikkö	Sähköteho	Käyttöönotto- vuosi	Suojarakennus	Tila onnettomuushetkelä
1	460 MW	1971	Mark I	Tehoajo

16.5.2011

2	784 MW	1974	Mark I	Tehoajo
3	784 MW	1976	Mark I	Tehoajo
4	784 MW	1978	Mark I	Vuosihuollossa Kaikki polttoaine reaktorihallin altaassa
5	784 MW	1978	Mark I	Vuosihuollossa Reaktorissa täysi sydän, paineastia ja suojarakennus suljettu
6	1100 MW	1979	Mark II	Vuosihuollossa Reaktorissa täysi sydän, paineastia ja suojarakennus suljettu

Sendai-Tohokun maanjäristys aiheutti tehoajolla olleilla yksiköillä 1-3 automaattisen pikasulun. Samaan aikaan katkesivatlaitoksen kaikki yhteydet valtakunnan sähköverkkoon. Fukushima Dai-ichi laitoksella oli 13 varavoimadieselgeneraattoria sähkönmenetystilanteiden varalta. Nämä dieselgeneraattorit käynnistyivät välittömästi verkkoyhteyden katkettua.

Maanjäristyksen synnyttämä tsunami iski Fukushima Dai-ichi -ydinvoimalaitokselle 11.3.2011 klo 8:41 Suomen aikaa, 55 minuuttia maanjäristyksen jälkeen. Laitoksen ulkoseinään jääneistä vesijäljistä mitattiin jälkeinpäin, että vedenpinta oli ollut 14 metriä korkeammalla kuin normaali meriveden pinta nousuveden aikana. Tsunami tuhosi mm. merivesipumppaamon, varavoimadieselgeneraattorit ja laitoksen sisäiseen sähkönjake luun tarvittavat kytkinlaitokset. Laitosta ei ollut alun perin suojattu tsunamin varalta, mutta vuonna 2010 tehdyllä analyysillä oli osoitettu, että se kestäisi ongelmitta 5,7 m korkean tsunamin. Laitoksen edustalla olevat aallonmurtajat ovat juuri tämän korkuiset.

Sähköverkon, varavoimadieselgeneraattoreiden ja kytkinlaitosten menetyksen seurauksena laitos menetti käyttövoiman kaikilta vaihtovirtasähköä tarvitsevilta pumpuilta ja niiden varassa olevan hätäjähdytyskapasiteetin.

Kaikilla laitousyksiköillä oli käytössä vaihtosähköstä riippumaton menetelmä siirtää jälkilämpöä ulos reaktorista: 1. yksiköllä ns. eristyslauhdutin ja 2. – 6. yksiköillä höyryturpiinikäyttöinen reaktorin apusyöttövesijärjestelmä (Reactor & Containment Isolation Cooling System, RCICS). Vaihtosähkön menetyksen jälkeen jälkilämpöä saatiin jonkin aikaa siirrettyä näillä järjestelmillä.

Eristyslauhdutin on suojarakennuksen ulkopuolelle sijoitettu vesiallas. Jälkilämpö poistetaan reaktorista johtamalla reaktorissa syntyvä höyry eristyslauhduttimen vesialtaassa kulkevaan putkistoon (lauhduttimeen), jossa höyry lauhtuu ja tiivistyy vedeksi. Jäähdytynyt vesi johdetaan takaisin reaktoriin. Allasvesi höyrystyy ja purkautuu ulkoilmaan. Ykkösyksiköllä jäähdytys menetettiin ensimmäisenä. Eristyslauhduttimen toiminta py-

16.5.2011

sähtyi joko akkusähköön ehtymisestä johtuvan venttiilien sulkeutumisen tai eristyslauhduttimen altaan kuivumisen seurauksena.

RCICS -järjestelmä hyödyntää käyttövoimanaan jälkilämmön reaktorissa tuottamaa höyryä. Järjestelmä imee jäähdytysveden suojarakennuksen sisällä olevasta lauhdutusaltaasta. RCICS-järjestelmä on riippumaton vaihtosähköstä, mutta vaatii ilmeisesti akkusähköä järjestelmään kuuluvien venttiilien käyttämiseen. Lisäksi järjestelmän käyttö edellyttää höyryn paineen ylläpitoa reaktorissa. Järjestelmän avulla oli mahdollista pumpata vettä reaktoriin, mutta sillä ei voinut poistaa jälkilämpöä suojarakennuksesta suojarakennuksen ulkopuolelle. Kakkos- ja kolmosyksiköillä RCICS-järjestelmä menetettiin joko akkujen tyhjennyttyä tai viimeistään, kun lauhdutusaltaan vesi alkoi kiehua. Kummallakaan laitossyksiköllä järjestelmää ei saatu enää myöhemmin käyntiin.

Reaktorin tuottama jälkilämpö vaatii jatkuvaa jäähdytysveden syöttöä reaktoriin. Sen jälkeen kun vaihtosähköstä riippumattomatkin vedensyöttömahdollisuudet menetettiin, reaktorien vedenpinta alkoi laskea.

Kaikilla kolmella laitossyksiköllä reaktorisydän paljastui ainakin osittain. Polttoaineen paljastuessa noin kolmanneksen reaktorin yläpäästä lukien ei alaosassa kehittyvä höyry enää pysty riittävästä jäähdyttämään reaktorin yläosaa. Tällöin polttoaine ja sitä ympäröivä suojakuori kuumenevat. Suojakuorimateriaalina käytettävä zirkonium reagoi kuumana herkästi vesihöyryn kanssa. Reaktiosta syntyy vetyä. Kaikilla laitossyksiköillä on reaktorissa syntynyt räjähdykseen riittävä määrä vetyä. Suojarakennuksen ulkopuolelle päässyt vety räjähti ykkös- ja kolmosyksiköiden reaktorirakennuksissa. Kakkosyksiköllä vetyräjähdys on mahdollisesti tapahtunut suojarakennuksen sisällä.

Sen jälkeen, kun oli käynyt selväksi, että reaktorit olivat vaurioituneet ja todennäköisesti ainakin osittain sulaneet, tehtiin päätös ajaa reaktoripaineastioihin ja suojarakennuksiin palopumpuilla merivettä. Meriveteen sekoitettiin booria, jonka tarkoitus oli estää ketjureaktion käynnistyminen vaurioituneessa reaktorissa. Tällä toimenpiteellä voitiin estää vielä laajemmat reaktorivauriot ja varmistaa, ettei sulanut reaktori sulattaisi myös reaktoriastian pohjaa ja putoaisi suojarakennukseen. Ainakin ensimmäisellä laitossyksiköllä reaktorin jäähdytys menetettiin niin pitkäksi aikaa, että merkittävä osa reaktorin sisältämästä polttoaineesta on sulanut.

Fukushiman onnettomuuden alkuvaiheessa yksiköillä 1 - 3 oli käytettävissä järjestelmät, joilla jälkilämpöä voitiin siirtää reaktorista suojarakennuksen vesialtaaseen. Tämän seurauksena suojarakennuksen paine alkoi nousta. Tilanteen hallinta muutamia tunteja pidemmällä aikavälillä olisi edellyttänyt, että suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmät olisi saatu toimintaan. Koska suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmiä ei saatu käynnistetyksi, jouduttiin paineen nousua rajoittamaan päästämällä höyry-kaasuseosta ulos suojarakennuksesta. Suojarakennuksen paineen alentaminen ei onnistunut suunnitellusti eikä seos kulkenut tarkoitetulla tavalla ulkoilmaan vaan jäi reaktorirakennuksen sisään. Reaktorirakennukseen joutunut vety räjähti jouduttuaan kosketuksiin ilman kanssa. Päästön yhteydessä suojarakennuksesta pääsi ympäristöön myös radioaktiivisia aineita.

Fukushiman ydinvoimalaitoksessa ei ollut tehty laitosmuutoksia, joilla olisi varauduttu sydämen sulamiseen niin, että päästö olisi voitu tehdä hallitusti ja rajoittaa radioaktiivisten aineiden päästöä ympäristöön esimerkiksi suodattimien avulla.

16.5.2011

Kaikilla Fukushima Dai-ichin yksiköillä on reaktorirakennuksen yläosassa polttoainealtaat, joissa polttoainetta säilytetään reaktorista poiston jälkeen muutama vuosi ennen siirtoa välivarastoon. Kaikilla yksiköillä polttoainealtaissa oli onnettomuuden sattumishetkellä polttoainetta. Jälkilämpöteho polttoainealtaissa oli niin pieni, että niiden kuivumiseen kiehumalla arvioitiin kuluvan kymmenestä päivästä (nelosyksikkö) yli kuu-kauteen. Onnettomuuden aikana jo 4-5 päivän kuluttua voimakkaasti kasvanut laitosalueen säteilytaso viittasi kuitenkin siihen, että polttoaineen vedenpinta oli laskenut polttoaineniippujen yläpään tasoa alemmas. Tällöin polttoaineesta suoraan tuleva säteily oli niin voimakasta, että laitosalueella työskentely ja erityisesti veden lisääminen polttoainealtaisiin säteilysuojaksi ja jäähdytteeksi oli vaikeaa. Tämän johdosta polttoainealtai-siin jouduttiin syöttämään vettä kaukaa ulkopuolelta paloruiskuilla ja betoniautoista.

Fukushiman onnettomuus on luokiteltu kansainvälisellä ydinlaitostapahtumien INES-asteikolla seitsemänteen eli vakavimpaan luokkaan samoin kuin vuonna 1986 tapahtunut Tshernobylin onnettomuus. Luokittelu on tehty sitä koskevan ohjeen mukaan oikein, mutta toisaalta on selvää, että luokitusohje ei ole hyvin soveltuva tähän tilanteeseen. Fukushiman onnettomuudessa radioaktiivisen jodin ja cesiumin päästöt ovat tämänhetkisten arvioiden mukaan 10 – 20 prosenttia Tshernobylin onnettomuuden päästöistä, mutta päästöarvioon sisältyy huomattava epävarmuus. Olennaisempaa kuin päästö sinänsä on päästön aiheuttama poikkeuksellinen säteilytilanne ympäristössä. Tähänastisten tietojen mukaan voi arvioida, että säteilyhaitat ympäristölle ja yhteiskunnalle sekä myös laitoksen työntekijöille jäävät selvästi vähäisemmäksi kuin Tshernobylin onnettomuudessa. Tätä arviota voidaan tarkentaa vasta sitten, kun Japanista on saatu paremmin jä-sennettyä luotettavaa tietoa säteilytilanteesta.

Fukushiman onnettomuudessa ei tullut säteilystä aiheutuneita kuolonuhreja eikä ku-kaan saanut akuuttiin säteilysairauteen johtavia kokokehoannoksia. Kahdelle työnteki-jälle tuli paikallisia säteilyn aiheuttamia palovamman tyyppisiä ihovaurioita. Kaksi lai-toksella tapahtunutta kuolemantapausta johtuivat suoraan tsunamiaallosta.