

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **Maailman ydinvoimaloiden alttius maanjäristyksille**

## **Nuclear power plants' vulnerability to earthquakes**

Työn tarkastaja: Arto Ylönen

Työn ohjaaja: Otso-Pekka Kauppinen

Lappeenranta 5.1.2015

Aleksi Savolainen

# TIIVISTELMÄ

Aleksi Savolainen

Maailman ydinvoimaloiden alttius maanjäristyksille

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2015

29 sivua, 10 kuvaa ja 9 taulukkoa

Hakusanat: ydinvoima, maanjäristys, seismisyys, ydinvoimala, Fukushima, stressitestit

Ydinvoimaloiden maanjäristysturvallisuutta on tutkittu uudelleen vuoden 2011 Fukushiman onnettomuuden seurauksena. Vuoden 2014 tammikuussa maailmalla oli 438 toimivaa ydinreaktoria, joista arviolta 20 % sijaitsi järistysherkillä alueilla. Työssä tutkitaan ydinvoimalaitosten varautumista maanjäristyksiin, sekä kartoitetaan myös maailmalta maanjäristysten suhteen vaarallisia alueita. Työssä selvitetään myös mitä Fukushiman onnettomuudesta on opittu. Maailmalla tapahtuneita maanjäristyksiä käydään läpi internetistä löytyvien tilastojen avulla. Maanjäristysten vaikutusta ydinvoimaloiden turvallisuuteen tarkastellaan Fukushiman onnettomuuden seurauksena aloitettujen tutkimusten, sekä Euroopan stressitestien avulla.

Maanjäristyksen todennäköisyyksien ja ydinvoimalaitosten sijaintien perusteella maanjäristysriskin kannalta vaarallisimmat alueet sijaitsevat Japanissa, Yhdysvaltojen länsirannikolla ja Intiassa. Maanjäristyksiin varautuminen perustuu maanjäristysriskin suuruuden ennustettavuuteen. Suurimmilla riskialueilla on tehty tutkimustyötä maanjäristysriskin suuruuden arvioinnissa, sekä varauduttu arvioitujen riskitasojen mukaisesti.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 Johdanto</b>	<b>2</b>
<b>2 Maanjäristykset</b>	<b>3</b>
2.1 Maanjäristysten ennustettavuus.....	3
2.2 Mannerlaatat ja ydinvoimaloiden sijoittuminen.....	4
<b>3 Ydinvoimaloiden varautuminen maanjäristyksiin</b>	<b>7</b>
3.1 IAEA:n turvallisuussuositukset.....	7
3.2 Yhdysvallat.....	8
3.2.1 Diablo Canyon .....	10
3.2.2 San Onofre .....	12
3.2.3 North Anna.....	13
3.3 Japani.....	14
3.3.1 Fukushima.....	18
3.3.2 Hamaoka .....	19
3.4 Intia.....	20
3.5 Muut pienemmän maanjäristysriskin valtiot .....	22
3.5.1 Espanja.....	23
3.5.2 Iran .....	24
<b>4 Euroopan stressitestit</b>	<b>26</b>
<b>5 Yhteenveto</b>	<b>28</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>30</b>

## 1 JOHDANTO

Ydinvoimalla tuotettiin 12 % maailman sähköstä vuonna 2011 (IEA, 2013). Vuoden 2014 tammikuussa maailmalla oli 438 toimivaa ydinreaktoria ja lisäksi 71 reaktoria oli rakenteilla. Arviolta 20 % maailman ydinreaktoreista toimii järjestysherkillä alueilla. Japanissa ja muilla Itä-Aasian maanjäristysherkillä alueilla sijaitsee yhteensä noin 70 toimivaa ydinreaktoria. Tämä vastaa noin 16 % kaikista maailman ydinreaktoreista. (IAEA, 2014a)

Fukushimassa maaliskuun 11. päivänä vuonna 2011 tapahtunut ydinonnettomuus oli seurausta maanjäristyksestä ja sitä seuranneesta hyökyaallosta. Onnettomuus aloitti maailmanlaajuisen keskustelun ydinvoimaloiden maanjäristysturvallisuudesta. (IAEA, 2011)

Tämän työn tavoitteena on selvittää miten ydinvoimaloissa on eri puolella maailmaa varauduttu maanjäristyksiä varten, missä sijaitsevat mahdolliset riskialueet maanjäristyksestä aiheutuvalle onnettomuudelle ja mitä Fukushiman onnettomuudesta on opittu. Työssä käydään myös läpi maailmalla tapahtuneita maanjäristyksiä ja niiden vaikutusta ydinvoimaloihin.

Työn aluksi luvussa kaksi kerrotaan maanjäristyksistä yleisesti, niiden mittaustavoista ja ennustettavuudesta. Luvussa kolme käydään läpi kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) antamia turvallisuussuosituksia maanjäristyksien suhteen, suurimpia maanjäristysriskialueita ja niissä sijaitsevia ydinvoimalaitoksia, sekä alueilla jo aiemmin tapahtuneita maanjäristyksiä. Luvun lopuksi on lisäksi tarkasteltu myös hieman pienemmän riskin omaavia riskialueita. Viimeiseksi luvussa neljä käsitellään Fukushiman onnettomuuden vuoksi Euroopan ydinvoimalaitoksille tehtyjä stressitestejä.

## 2 MAANJÄRISTYKSET

Maanjäristykset ovat mannerlaattojen värähtelyä, jota syntyy tulivuorenpurkauksissa ja mannerlaattojen liikkeessä toistensa suhteen. Mannerlaattojen liikkeessä laatat voivat juuttua toisiinsa kiinni ja, koska laatat eivät hajoa vaan taipuvat, aiheutuu niiden välille jännite. (Geotieteiden ja maantieteen laitos, 2012a). Jännitteen suuruuden ylittäessä kiviaineksen lujuuden, kallioperä repeää synnyttäen maanjäristyksen. Kallioperän repeämiskohtaa kutsutaan hyposentrumiksi ja paikkaa maanpinnalla suoraan hyposentrumin yläpuolella kutsutaan episentrumiksi. Repeämisestä vapautuvaa energiaa siirtyy kaikkiin suuntiin murskaton ja liikuttaen kiviainesta, samalla vapauttaen lämpöä. Energiasta pieni osa siirtyy maankuoressa seismisinä aaltoina, jotka saavuttaessaan maanpinnan aiheuttavat maankuoren liikehdintää. Tätä liikehdintää pystytään mittaamaan seismografeilla. (Ealing & MacFarlane 2003, 16)

Maanjäristysten voimakkuuksia kuvataan yleensä joko logaritmisella Richterin asteikolla tai momenttimagnitudilla. Momenttimagnitudi mitataan maanjäristyksen lähteestä ja näin sen suuruuteen ei vaikuta havainnoitsijan paikka tai miltä järistys havainnoitsijasta tuntuu. Richterin asteikko mittaa vain järistyksen suurinta liikettä ja varsinkin yli 7 magnitudin arvoilla Richterin asteikko ei enää anna luotettavia tuloksia. Tästä johtuen momenttimagnitudia suositetaan tavallisesti Richterin asteikon sijasta. Momenttimagnitudin etuna on myös, ettei se saturoidu eli kyllästy korkeilla järistyksen arvoilla eli momenttimagnitudille ei ole mitään yläarvoa jossa kaikki järistykset saavat saman arvon. Näin ollen momenttimagnitudia voidaan käyttää mitattaessa myös suuria järistyksiä. (Geotieteiden ja maantieteen laitos, 2012b)

### 2.1 Maanjäristysten ennustettavuus

Maanjäristysennustuksen pitää pystyä kertomaan järistyksen paikka, aika ja magnitudi. Ennusteelta edellytetään tarkkuutta ja vain pienet virheet edellä mainituissa parametreissa hyväksytään, jotta tarvittavat maanjäristyssuojaukset voidaan määrätä. Maankuoren heterogeenisesta luonteesta ja siirrosalueiden luoksepääsemättömyydestä johtuen tarkkojen ennusteiden luominen on mahdotonta. (Geller et al. 1997)

Jotta suuret maanjäristykset olisivat ennustettavissa, tulisi näiden järistysten syntyä tiettyjen ehtojen täytyessä. Näin ei kuitenkaan ole ja pienimilläkin maanjäristyksillä on mahdollisuus aloittaa isoon maanjäristykseen johtava tapahtumasarja. Pienen maanjäristyksen kasvaminen isoksi maanjäristykseksi riippuukin monista yksityiskohdista, jotka tulee huomioida ennustusta tehtäessä huomattavasti laajemmalla alueella kuin siirroksen läheisyydestä. Tämä rajoittaa ja tekee suurien maanjäristysten luotettavasta ennustamisesta lähes mahdotonta. (Geller et al. 1997)

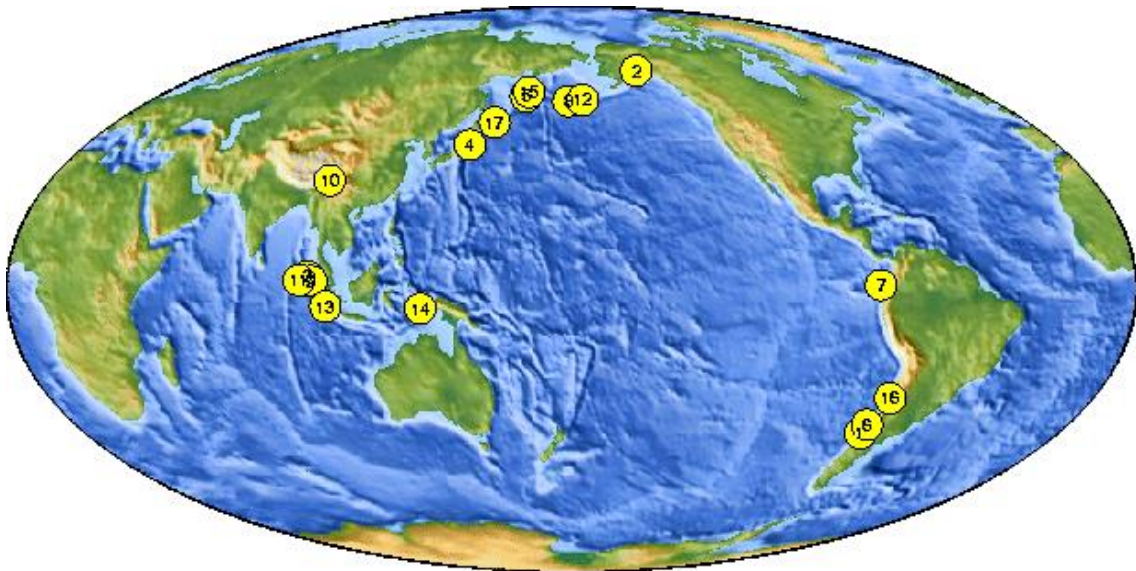
Maanjäristysten luotettava ennustaminen on siis nykyisellä tekniikalla ja resursseilla epäkäytännöllistä ja jopa mahdotonta. Seismologian, eli maanjäristyksiin ja maan läpi kulkeviin aaltoliikkeisiin perustuvan tieteenalan avulla voidaan kuitenkin vaikuttaa maanjäristyksen lieventämiseen. Tutkimalla tietyllä alueella tapahtuneiden maanjäristysten määriä ja voimakkuuksia, voidaan tehdä tilastollisia ennustuksia maankuoren liikahtelun voimakkuuksille pitkälle aikavälille. Aikaväli näissä ennustuksissa on luokkaa 30 - 100 vuotta ja maankuoren liikahtelun ennustetta voidaan käyttää hyväksi suunniteltaessa maanjäristyksen kestäviä rakennuksia ja rakenteita. (Geller et al. 1997)

## **2.2 Mannerlaatat ja ydinvoimaloiden sijoittuminen**

Maanjäristykset tapahtuvat useimmiten mannerlaattojen kohtausalueella. Merkittäviä järistyksiä voi kuitenkin tapahtua muuallakin, vaikkakin huomattavasti harvemmin. Maapallon vuotuisesta seismisestä energiasta vapautuu arviolta noin 70-90 % Tyynenmeren mannerlaatan alueella (Geotieteiden ja maantieteen laitos, 2012a). Taulukossa 1 on esitetty vuoden 1900 jälkeen tapahtuneet suurimmat maanjäristykset ja kuvassa 1 on esitetty niiden sijainti maapallolla. Kuvassa 2 on esitetty mannerlaattojen reunojen, sekä ydinvoimaloiden ja tutkimusreaktorien sijainti.

**Taulukko 1.** Suurimmat maanjäristykset vuoden 1900 jälkeen (USGS, 2012c).

	Sijainti	Päivä- määrä	Momentti- magnitudi
1.	Chile	22.5.1960	9.5
2.	Prince William Sound, Alaska	28.3.1964	9.2
3.	Pohjois-Sumatran länsirannikko	26.12.2004	9.1
4.	Honshun itärannikko, Japani	11.3.2011	9.0
5.	Kamchatka, Venäjä	4.11.1952	9.0
6.	Maulen rannikko, Chile	27.2.2010	8.8
7.	Ecuadorin rannikko	31.1.1906	8.8
8.	Ratsaaret, Alaska	4.2.1965	8.7
9.	Pohjois-Sumatra, Indonesia	28.3.2005	8.6
10.	Assam, Tiibet	15.8.1950	8.6
11.	Pohjoi-Sumatran länsirannikko	11.4.2012	8.6
12.	Andreanofsaaret, Alaska	9.3.1957	8.6
13.	Etelä-Sumatra, Indonesia	12.9.2007	8.5
14.	Bandanmeri, Indonesia	1.2.1938	8.5
15.	Kamchatka, Venäjä	3.2.1923	8.5
16.	Chilen ja Argentiinan raja	11.11.1922	8.5
17.	Kuriilien saaret, Venäjä	13.10.1963	8.5

**Kuva 1.** Suurimpien maanjäristyksiä sijainti maapallolla vuoden 1900 jälkeen (USGS, 2012).



**Kuva 2.** Tutkimusreaktorit ja ydinvoimalat mannerlaattoihin nähden. (Tekniikka & talous, 2011)

Kuvista 1 ja 2 nähdään, että suurimmat järjestykset vuoden 1900 jälkeen sijoittuvat Tyynenmeren laatan ja sitä reunustavien Nazca-laatan ja Euraasian laatan reunoille. Viimeisin merkittävin järjestys Pohjois-Amerikan länsirannikolla on vuoden 2010 maanjäristys, jonka suuruus oli 6,5 momenttimagnitudia (USGS, 2010). Kuvasta 2 huomataan myös, että suurin osa mannerlaattojen reunoilla sijaitsevista ydinvoimaloista tai tutkimusreaktoreista on Japanissa tai Itä-Aasiassa. Muita mahdollisia riskialueita ovat Yhdysvaltojen länsirannikko, Intia ja Espanjan etelärannikko.



### **3 YDINVOIMALOIDEN VARAUTUMINEN MAANJÄRISTYKSIIN**

Tässä luvussa käydään läpi yleisesti IAEA:n ydinvoimaloille laatimia turvallisuussuosituksia, miten ydinvoimaloiden tulisi varautua seismiseen vaaraan. Tämän jälkeen keskitytään erityisesti Yhdysvaltojen, Japanin ja Intian ydinturvallisuuteen maanjäristyksissä. Yhdysvaltojen tapauksessa keskitytään Länsi-Yhdysvaltoihin, sillä kuvan 2 mukaisesti siellä voimalat sijaitsevat mannerlaattojen yhtymäkohdassa. Luvun lopuksi käydään läpi pienempiä ydinvoimavaltioita, jotka sijoittuvat maanjäristysherkillä alueille.

#### **3.1 IAEA:n turvallisuussuositukset**

IAEA on luonut turvallisuusstandardeja, joissa se asettaa ydinvoiman rakentamiseen ja ylläpitämiseen. Näitä standardeja ovat “Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting” (IAEA, 1991), “Evaluation of seismic hazards for nuclear power plants” (IAEA, 2002), “Seismic design and qualification for nuclear power plants” (IAEA, 2003) ja “Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations” (IAEA, 2010).

IAEA suosittelee, että maanjäristyksiin liittyvät maaperän liikkeet, siirrokset, seismisesti syntyvät vesiaallot ja pysyvät maaperän muutokset tulee tutkia erikseen jokaiselle ydinvoimala-alueelle. Jokaisen ydinvoimala-alueen geologiset ja seismologiset piirteet tulee tutkia, jotta voidaan määrittää ympäristön seismotekninen luonne. Jokaiselle ydinvoimalalle tulee myös luoda tietokirjasto, jolla voidaan PSA:n, eli todennäköisyyksiin perustuvien turvallisuuslaskelmien avulla selvittää maanjäristysten ja siihen liittyvien riskien suuruus ja vakavuus. Tietokirjaston tulisi sisältää geologiset, geofyysiset, geotekniset ja seismologiset tutkimukset ydinvoimalan maakunnasta, sekä sen lähikunnista. (IAEA 2002, 2-4)

Maaperän liikkeiden todennäköisyydet tulee arvioida, jotta saadaan arvioitua laitoksen seismiseen suunnitteluun käytettävät suunnittelumaanjäristykset. IAEA suosittelee luokittelemaan suunnittelumaanjäristykset luokkiin SL-1 ja SL-2 niiden voimakkuuksien ja

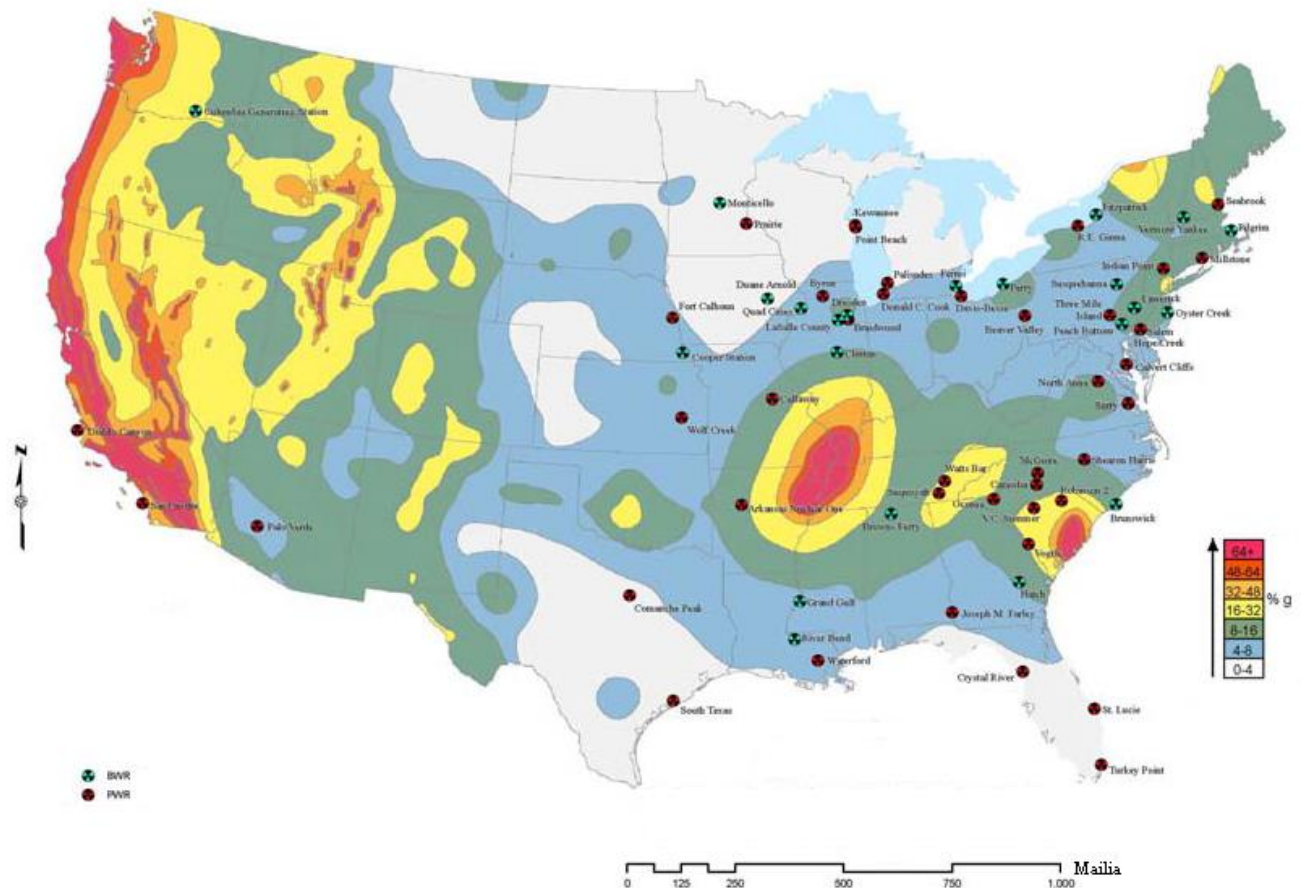
esiintymisien todennäköisyyksien mukaan (IAEA 2003, 4-5). Joissakin maissa kuten Japanissa luokittelusta on luovuttu ja suunnittelumaanjärityksen arvioimisessa käytetään yksikköä Galileo (Gal, [cm/s<sup>2</sup>]), jossa 1 g vastaa 980 Galia (WNA, 2012). Riippumatta seismisestä uhasta minimitaso suunnittelussa käytettävälle maanpinnan kiihtyvyyden arvolle tulisi olla 0,1 g. (IAEA 2003, 4-5)

## 3.2 Yhdysvallat

Vuonna 2013 Yhdysvallat tuotti 19 % sähköntuotannostaan ydinvoimalla. (IAEA, 2014b). Samana vuonna Yhdysvalloissa oli 100 energiantuotantoon lisensoitua ydinreaktoria, joista kuusi ydinreaktoria sijaitsee Yhdysvaltain maanjäritysherkällä länsirannikolla. Uusia ydinreaktoreita on rakenteilla vain kolme ja aikaisemmin suunniteltuja ydinvoimaprojekteja on lopetettu tai viivästetty, johtuen halvasta maakaasusta ja vuoden 2011 Sendain yhdeksän magnitudin maanjärityksestä ja sen aiheuttamasta Fukushima onnettomuudesta. (WNA, 2014)

Yhdysvalloissa ydinvoimalaturvallisuudesta vastaa Nuclear Regulatory Commission (NRC). NRC vaatii ydinvoimalan suunnittelussa, sekä ylläpidossa seismisen toiminnan huomioimisen. Saataessa uutta tietoa seismisestä toiminnasta NRC arvioi, mallintaa ja päättää tarvitaanko voimaloihin muutoksia. NRC vaatii, että suunniteltaessa turvallisuuden kannalta tärkeitä rakenteita, järjestelmiä ja laitteita täytyy huomioon ottaa vakavin alueella sattunut tapahtuma, jonka jälkeen NRC lisää tähän vielä virhemarginaalin. Eri-laisten tapahtumien yhdistelmät tulee ottaa huomioon suunnittelussa niin normaali- kuin onnettomuustilanteissa. (U.S.NRC, 2011)

Kuvassa 3 on esitetty Yhdysvaltojen voimaloiden sijainti suhteessa odotettavissa olevaan maankuoren kiihtyvyyden huippuarvoon, joka on esitetty prosenttiosuutena putoamiskiihtyvyydestä g.



**Kuva 3.** Yhdysvaltojen voimalat ja mahdollisten maanjäristysten voimakkuuden suuruus prosentteina maan putoamiskiitävyydestä. (Andrews, 2011)

Kuvassa punaisella radioaktiivisuuden merkillä on merkitty painevesilaitoksia (PWR) ja sinisellä radioaktiivisuuden merkillä kiehumisvesilaitoksia (BWR). Kuvasta huomataan, että suurimmat järjestykseen suhteessa ydinvoimalaitoksiin sijoittuvat lähinnä Yhdysvaltojen länsirannikolle. Yhdysvaltojen länsirannikolle sijoittuvat ydinvoimalaitokset ylhäältä alaspäin lueteltuna ovat Columbia Generating Station, Diablo Canyon, San Onofre ja Palo Verde. Näistä Diablo Canyonin ja San Onofren ydinvoimalat sijoittuvat maanjäristysherkimmille alueille.

### 3.2.1 Diablo Canyon

Taulukossa 2 on esitetty Diablo Canyonin ydinvoimalan kaksi ydinreaktoria.

**Taulukko 2.** Diablo Canyonin ydinvoimala (IAEA, 2014b).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä	Tyyppi
Diablo Canyon 1	1122	1984	PWR
Diablo Canyon 2	1118	1985	PWR

Ydinvoimalaitos on suunniteltu kestämään 7,5 magnitudin järistys, sekä suunniteltu haavoittamaan merkittäviä maankuoren liikkeitä ja myös tarvittaessa sulkemaan itsensä (Sneed David, 2010). Laitoksen suunnitteluperusteissa laitoksen tulee kestää äkillinen maankuoren huippukiihtyvyyden arvo 0,75 g (WNA, 2012).

Diablo Canyonin ydinvoimala sijaitsee kuvan 3 mukaisesti Yhdysvaltojen länsirannikon maanjäristysherällä alueella. Alueesta järistysherän tekee Hosgri ja Shoreline siirroksien läheisyys. Laitoksen omistajan Pacific Gas and Electric Companyn (PG&E) mukaan Hosgri ja Shoreline siirrokset ovat liian pieniä vaarantaakseen laitoksen toiminnan. Monet valtiolla toimivista tiedemiehistä ovat kuitenkin toista mieltä. Sam Johnson, Yhdysvaltojen geologian laitoksen (USGS) tiedemies, esitti keväällä 2011 USGS:n pääkonttorissa Menlo Parkissa pitämässään esityksessä kuinka Hosgrin siirros voisi yhdistyä San Fransiscon pohjoispuolen San Simeonin ja San Gregorion siirroksiin. Siirroksen eteläpää alkaisi Point Conceptionista ja jatkuisi San Fransiscon pohjoispuolelle Bolinakseen. Tämä venyttäisi Hosgrin siirrosta kokonaispituuden 250 mailiin alkuperäisestä 105 mailista. Kuvassa 4 on esitetty Point conceptionin ja Bolinaksen etäisyys Californian kartalla punaisella viivalla. (CEC 2011a, 192-193)



**Kuva 4.** Hosgrin siirros (Destination360, 2006)

Siirrosten yhdistymistä ei kuitenkaan ole vielä pystytty täysin todistamaan ja tutkimusta tehdään edelleen. PG&E:n teettämässä tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, että Shorelinen siirros ei voi yhtyä Hosgrin siirroksen kanssa ja pystyisi yksin tuottamaan vain 6,5 magnitudin järistyksiä. Jeanne Hardebeck, USGS:n seismologi, joka löysi Shorelinen siirroksen käyttäen PG&E:n ja USGS:n tietoja taltioiduista järistyksistä, sanoo, että on loogista olettaa siirrosten olevan yhteydessä toisiinsa. Tämä voisi aiheuttaa 7,2 magnitudin järistyksen aivan laitoksen alapuolelle, joka aiheuttaisi laitokseen suuremman maan liikkeen kuin rakennettaessa huomioitu 7,5 magnitudin järitys kolme mailia merellä. Siirrosten mahdollista yhteyttä puolustavat myös havainnot viime vuosikymmenten maanjäristyksistä, joissa järistyksen ovat alkaneet yhdestä siirroksista ja hyppäneet seuraavaan siirrokseseen. Esimerkkinä Hardebeck antaa vuonna 2011 tapahtuneen Japanin yh-

deksän magnitudin maanjäristyksen. Järistys eteni usean, ennen erillään pidettyjen siirrostien läpi, aiheuttaen tsunamin joka tuhosi Fukushima Daiichin ydinvoimalan. (CEC, 2011b)

PG&E, joka on uusimassa Diablo Canyonin laitostensa lupia, pyysi huhtikuussa 2011 NRC:tä viivyttämään lupien myöntöä kunnes PG&E on saanut suoritettua ja lähetettyä uudesta seismisestä 3-D tutkimuksesta raportit NRC:lle. Tutkimusten odotetaan valmistuvan viimeistään joulukuussa 2015, laitosten lupien erääntyessä vuosina 2024 ja 2025. (Nuclear Waste News, 2011)

### 3.2.2 San Onofre

San Onofren ydinvoimalaitosalueen kolme reaktoriyksikköä on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** San Onofren ydinvoimala (IAEA, 2012a).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä	Alasajo-vuosi	Tyyppi
San Onofre 1	436	1967	1992	PWR
San Onofre 2	1070	1982	2013	PWR
San Onofre 3	1080	1983	2013	PWR

Reaktorit on suunniteltu kestäväksi 7,0 magnitudin maanjäristyksiin, joka on enemmän kuin alueelle ennakoitu suurin järjestyksen arvo 6,5 magnitudia. Reaktorit on myös suunniteltu kestäväksi maankuoren huippukiihtyvyyden arvo 0,67 g (WNA, 2012). 6,5 magnitudin järjestyksen voisi aiheuttaa laitokselle lähin siirros, joka sijaitsee noin viiden mailin päässä merellä. (Saillant Catherine, 2011)

Molemmista uudemmissa reaktoreista löytyi vuoden 2012 polttoaineseisokissa ja sen aikana suoritetuissa tutkimuksissa ennenaikaista kulumista höyrystimistä ja yksiköt päätettiin pitää suljettuina, kunnes syy kulumiselle löytyy. Kesäkuussa 2013 reaktorit kaksi ja kolme päätettiin sulkea lopullisesti. (Mufson Steven, 2013)

### 3.2.3 North Anna

Taulukossa 4 on esitetty North Annan ydinvoimalan tiedot, joka sijaitsee Yhdysvaltojen itärannikolla, Virginian osavaltiossa.

**Taulukko 4.** North Annan ydinvoimala (IAEA, 2012a).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä	Tyyppi
North Anna 1	943	1978	PWR
North Anna 2	943	1980	PWR

Elokuun 23. päivä 2011 North Annan ydinvoimalassa tapahtui pikasulku 5,8 momenttimagnitudin suuruisen maanjäristyksen johdosta. North Annan ydinvoimala on Yhdysvaltojen historian ensimmäinen ydinvoimala, joka on jouduttu sulkemaan maanjäristyksestä aiheutuneen seismisen toiminnan johdosta ja jonka suunnitteluperusteet ylittyivät. (Peltier, 2012)

Maanjäristyksen episentrumi sijaitsi ydinvoimalasta 11 mailia lounaaseen ja järistyksen sattuessa molemmat laitoksen reaktorit ajettiin välittömästi alas. Maanjäristyksen johdosta ydinvoimala menetti ulkoisen sähkönsaannin, mutta diesel-generaattoreilla tuotettava varavoima korvasi tarvittavan kuorman kahdeksassa sekunnissa hätätilannetta varten tehtyjen suunnitelmien mukaisesti. Ydinvoimala siirtyi hälytystilaan, joka on toiseksi alin neljästä NRC:n luokittelemasta hätätilasta. Seuraavan päivän aamuna laitos siirtyi hälytystilasta epätavallisen tilanteen tapaukseen, joka on alin NRC:n luokiteleva hätätila. Reaktorin jäähdytystä ja laitteiston tarkistusta jatkettiin kunnes iltapäivästä laitos poistui hätätilasta, kun ydinvoimalan maanjäristysherkkien laitteistojen tarkastukset saatiin viimeistelyä ja laitteistojen todettiin olevan kunnossa. Jälkijäristyksien johdosta laitos siirtyi vielä kaksi kertaa epätavallisen tilanteen tapaukseen elokuun 25. päivä ja syyskuun 1. päivä. Laitoksen rakenteet, järjestelmät tai laitteet eivät kärsineet näissä jälkijäristyksissä minkäänlaisia vaurioita. (Peltier, 2012)

Laitoksen suunnitteluperusteet ylittyivät noin kolmen sekunnin ajaksi, kun maanpinnan kiihtyvyys ylitti ennalta suunnitellut rajat. Laitos oli suunniteltu kestävään maankuoren kiihtyvyys arvoon 0,18 g asti, mutta maanjäristyksestä syntynyt kiihtyvyys saavutti arvon 0,26 g. (WNA, 2012)

Dominion arvioi laitokselle aiheutuneet vahingot NRC:n hyväksymien dokumenttien avulla. North Anna ei näiden arvioiden mukaan ollut kärsinyt laitoksen toimintaa haittaavia vaurioita. Dominion jatkoi laitoksen arviointia kuitenkin olettaen, että vaurioita olisi voinut tapahtua ja lisäsi tarvittavien analyysien ja testien määrää, sekä tarkkuutta. Laitos oli poissa käytöstä kolme kuukautta ja tällä aikavälillä suoritettujen tutkimusten ja analyysien perusteella laitos ei kärsinyt mitään käyttöä haittaavia vaurioita, vaikka suunniteluperusta ylitettiin. (Peltier, 2012)

### **3.3 Japani**

Japani sijaitsee maailman järistysherkeimmällä alueella, neljän mannerlaatan liitoskohdassa. Japanissa tapahtui vuonna 2011 yhdeksän magnitudin suuruinen Sendain maanjäristys, joka oli maailman neljänneksi suurin järistys yli sataan vuoteen. Japani tuotti ennen kyseistä maanjäristystä reilun neljänneksen sähköntarpeestaan ydinvoimalla. Maanjäristyksen jälkeen kaikki valtion ydinvoimalat ajettiin alas, mutta toimintaan palauttamista on sittemmin suunniteltu eri laitoksilla laitoskohtaisesti. Jotta laitos saa käynnistysluvan, tulee sen tehdä selonteko laitoksen turvallisuusjärjestelyistä Japanin ydinvoimasta vastaavalle viranomaiselle (NRA) ja suorittaa selonteosta ilmi käyvät laitoksen parannukset (WNA, 2013b). Taulukossa 5 on esitetty Japanin kaikki ydinvoimalat.



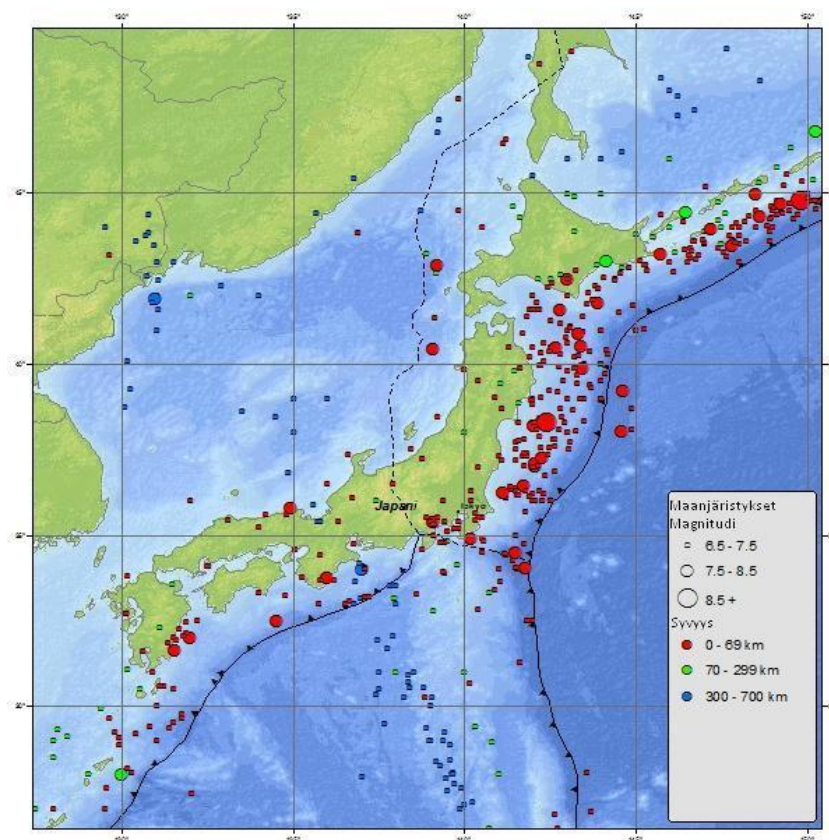
**Taulukko 5.** Japanin ydinvoimalat (IAEA, 2012a).

Ydinvoimala	Reaktorien lukumäärä	Tyyppi	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä
Fukushima Daiichi	2	BWR	1827	1977-1979
Fukushima Daini	4	BWR	4268	1981-1986
Genkai	4	PWR	3312	1975-1996
Hamaoka	3	BWR	3473	1987-2004
Tohoku	1	BWR	1067	2005
Ikata	3	PWR	1922	1977-1994
Kashiwazaki Kariwa	7	BWR	7965	1985-1996
Mihama	3	PWR	1570	1970-1976
Ohi	4	PWR	4494	1977-1992
Ohma	(1*)	BWR	(1325*)	-
Onagawa	3	BWR	2090	1983-2001
Sendai	2	PWR	1692	1983-1985
Shika	2	BWR	1613	1993-2005
Shimane	2(1*)	BWR	1228(1325*)	1973-1988
Takahama	4	PWR	3220	1974-1984
Tokai	1	BWR	1060	1978
Tomari	3	PWR	1966	1988-2009
Tsuruga	2	BWR&PWR	1448	1969-1986

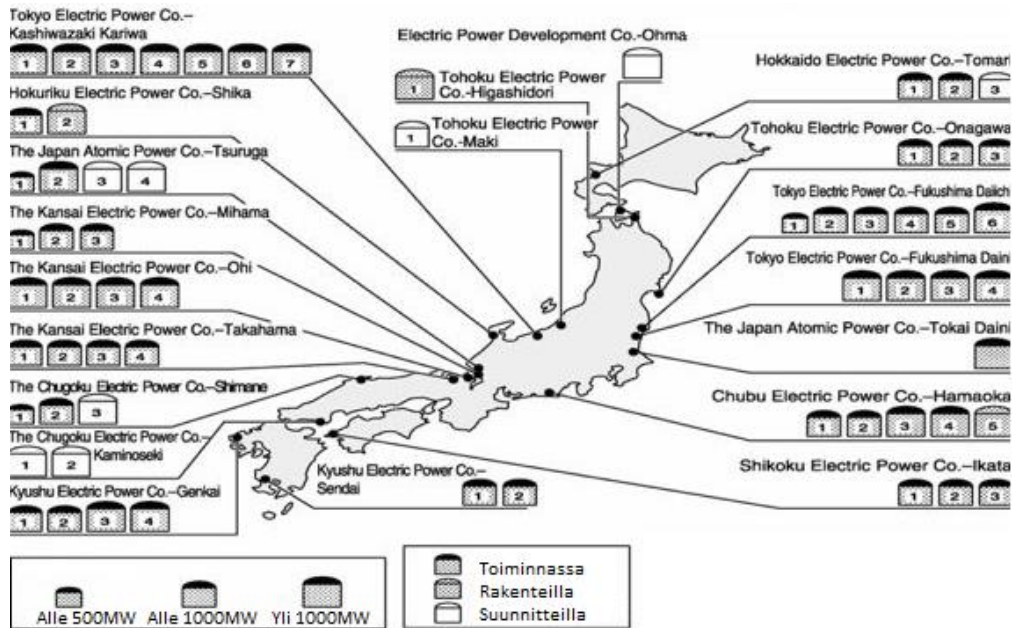
\*Ohman ja Shimanen ydinvoimaloissa oli Sendain maanjäristyksen aikaan rakenteilla 1325 MW:n reaktorit, joiden rakennustyöt ovat olleet pysähtyksissä siitä lähtien.

**Kuva 5.** Japaniin yhteydessä olevat mannerlaatat ja Sendain maanjäristys. (Yle, 2011)

Kuvassa 5 on esitetty mannerlaattojen liitoskohdat Japanin alueella ja laattojen liikesuunnat, sekä Sendain yhdeksän momenttimagnitudin maanjäristyksen sijainti. Kuvasta nähdään Tyynenmeren laatan työntyvän Pohjois-Amerikan laatan alle. Tätä ilmiötä kutsutaan subduktioksi. Subduktion seurauksena syntyy huomattavasti enemmän järjestyksiä kuin erkanevassa liikkeessä, mitä tapahtuu Pohjois-Amerikan ja Euraasian laatan rajapinnalla (AGGA, 2013). Kuvassa 6 on esitetty yli 6,5 magnitudin maanjäristysten sijainteja Japanissa vuoden 1900 jälkeen ja kuvassa 7 on esitetty Japanin vuonna 2003 toiminnassa, rakenteilla, sekä suunnitteilla olleet ydinvoimalat.



**Kuva 6.** Yli 6,5 magnitudin maanjäristykset Japanissa vuoden 1900 jälkeen. (USGS, 2012b)



Kuva 7. Japanin ydinvoimalat vuonna 2003 (IAEA, 2004).

Onagawan ja Fukushimaan ydinvoimalat olivat lähimpänä vuoden 2011 suurjärityksen episentrumia. Näistä kahdesta ydinvoimalasta Onagawan ydinvoimala oli lähempänä, muttei juuri kärsinyt vaurioita, kun taas Fukushimaan ydinvoimalat kärsivät huomattavia vaurioita (WNA, 2013a). Sekä Onagawan, että Fukushimaan ydinvoimalaitoksiin oletettiin alunperin kohdistuvan suurimmillaan 3 metrin hyökyaalto, kun Sendain maanjäristyksen aiheuttama hyökyaalto oli kummallakin laitoksella noin 13 metriä korkea. Onagawan ydinvoimala selvisi kuitenkin ilman vaurioita, koska se oli rakennettu noin 14,8 metrin korkeudelle merenpinnasta, kun taas Fukushimaan ydinvoimalat oli rakennettu noin 10 metrin korkeudelle. Tästä seurasi että hyökyaalto ei päässyt tuhoamaan Onagawan laitoksen jälkilämmönpoistoa, joka koitui kohtalokkaaksi Fukushimaan laitoksella. (Tojima, 2014)

### 3.3.1 Fukushima

Taulukossa 6 on esitetty Fukushiman ydinvoimalan reaktorit, johonka sisältyy Fukushima Daiichin ja Fukushima Dainin reaktorit.

**Taulukko 6.** Fukushiman ydinvoimala (IAEA, 2012a).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä	Alasajo-vuosi	Tyyppi
Fukushima Daiichi 1	439	1970	2011	BWR
Fukushima Daiichi 2	760	1973	2011	BWR
Fukushima Daiichi 3	760	1974	2011	BWR
Fukushima Daiichi 4	760	1978	2011	BWR
Fukushima Daiichi 5	760	1977	-	BWR
Fukushima Daiichi 6	1067	1979	-	BWR
Fukushima Daini 1	1067	1981	-	BWR
Fukushima Daini 2	1067	1983	-	BWR
Fukushima Daini 3	1067	1984	-	BWR
Fukushima Daini 4	1067	1986	-	BWR

Sendain maanjäristyksen ja siitä syntyneen reilun 10 metriä korkean hyökyaallon seurauksena Daiichin ydinvoimalan reaktorit 1-3 kärsivät osittaisesta reaktorisydämen sulamisesta ja ne luokiteltiin kansainvälisellä INES-asteikolla luokan viisi onnettomuuksiksi. Daiichin reaktorit 4-6 oli ajettu alas jo ennen tsunamia vuosihuollon takia ja näin ollen ne kärsivät pienemmät vahingot. Tämä johtui jälkilämmönpoiston pienemmästä tarpeesta, sillä pahimmat ongelmat reaktoreilla 1-3 aiheutti jälkilämmönpoisto, hyökyaallon tuhosta jälkilämmönpoistoon käytettäviä järjestelmiä. Kokonaisuudessaan Fukushiman onnettomuus luokitellaan INES-asteikolla luokan 7 onnettomuudeksi. (WNA, 2013a)

Fukushiman voimaloiden kestävyttä maankuoren liikkeisiin parannettiin vuonna 2008, jolloin Daiichin kestävyys maankuoren kiihtyvyyttä kohtaan nousi arvoon 0,45-0,5 g ja Dainin ydinvoimalan kestävyys arvoon 0,42-0,44 g. Sendain järjestyksen hetkellinen huipparvo Daiichin ydinvoimalalle oli 0,56 g reaktorin kaksi perustuksissa ja Dainin ydinvoimalalle 0,26 g. Daiichin reaktorin kaksi lisäksi myös reaktorien kolme ja viisi suunnitteluperusteiden maksimikihtyvyyden arvo ylitettiin 20 %:lla (WNA, 2012). Fukushiman reaktoreista käyttökelpoisia ovat Fukushima Daiichin reaktorit 5 ja 6, sekä Dainin kaikki reaktorit (IAEA, 2012a).

### 3.3.2 Hamaoka

Hamaokan ydinvoimalan reaktorit on esitetty taulukossa 7.

**Taulukko 7.** Hamaokan ydinvoimala (IAEA, 2012a).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä	Alasajo-vuosi	Tyyppi
Hamaoka 1	515	1974	2009	BWR
Hamaoka 2	806	1978	2009	BWR
Hamaoka 3	1056	1987	-	BWR
Hamaoka 4	1092	1993	-	BWR
Hamaoka 5	1325	2004	-	BWR

Hamaokan alueen ydinvoimala sijaitsee alueella, jonne on ennustettu osuvan 8,5 magnitudin suuruinen maanjäristys. Tokain maakunta, jossa Hamaokan ydinvoimala sijaitsee, on kärsinyt noin 150 vuoden välein suurista maanjäristyksistä ja viimeisestä suuresta järistyksestä on kulunut jo yli 150 vuotta. Hamaokan reaktorit kolme ja neljä olivat alun perin suunniteltu kestämään 0,6 g suuruiset maankuoren kiihtyvyyden arvot, mutta ovat reaktori viiden ohella sittemmin päivitetty kestämään 1 g suuruiset maankuoren liikkeet vuonna 2007 voimaan tulleiden standardien johdosta. (WNA, 2012)

Elokuussa 2009 6,5 magnitudin maanjäristys Tokain alueella sulki Hamaokan reaktorit neljä ja viisi, joista jälkimmäisellä mitattiin maankuoren kiihtyvyyden arvoksi 0,43 g. Maanjäristyksen ja siitä aiheutuneiden tarkastusten jälkeen reaktorit kolme ja neljä käynnistettiin uudestaan, mutta reaktorin viisi käynnistystä lykättiin kunnes pystyttiin selvittämään syyt laitoksella mitattuihin suuriin maankuoren kiihtyvyyden arvoihin. Lopulta reaktori käynnistettiin uudelleen tammikuussa 2011, kunnes se ajettiin taas alas Fukushima onnettomuuden seurauksena myöhemmin samana vuonna. (WNA, 2012)

### 3.4 Intia

Taulukossa 8 on esitetty Intian toiminnassa ja rakenteilla olevat ydinvoimalat.

**Taulukko 8.** Intian ydinvoimalat (IAEA, 2012b).

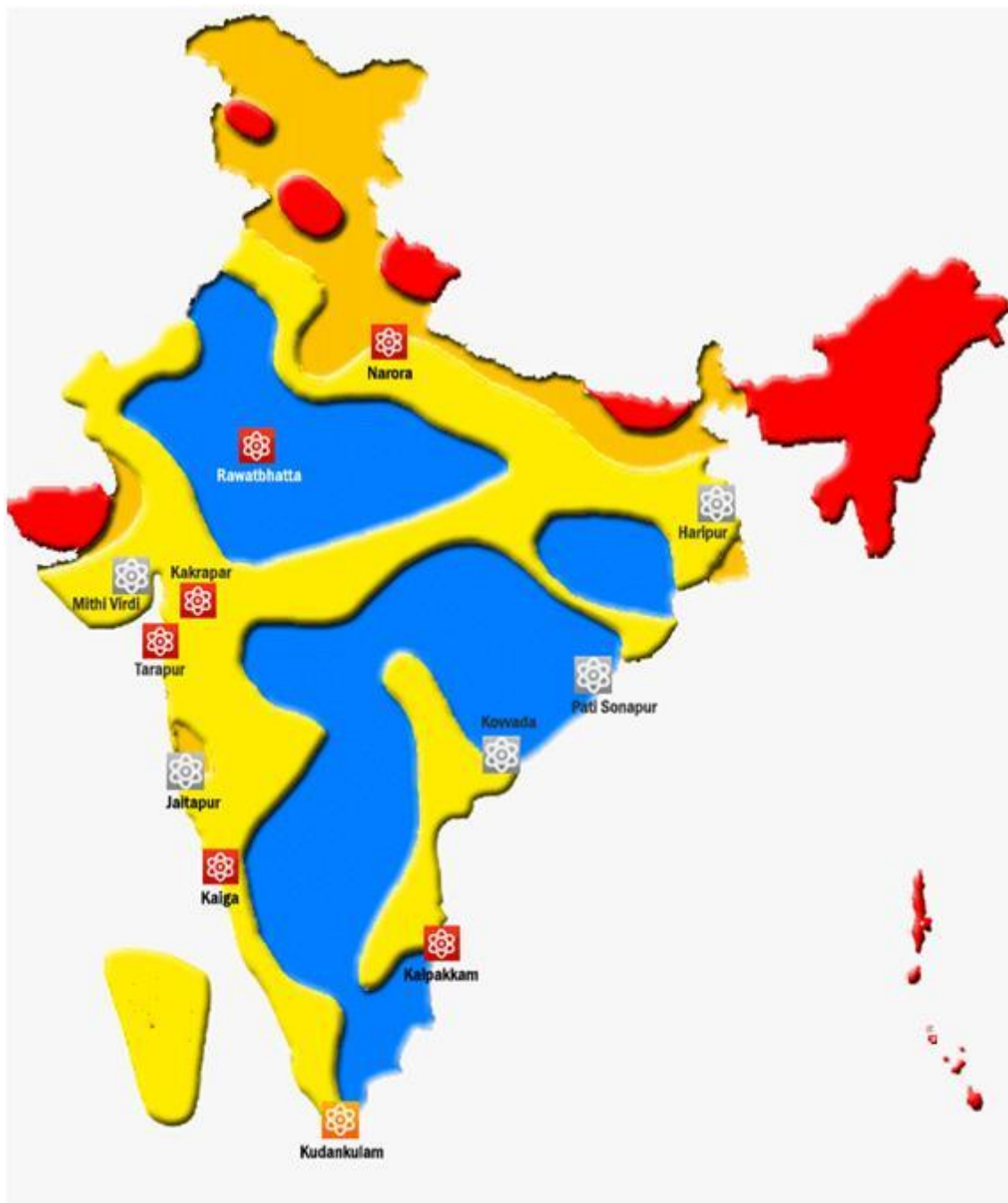
Ydinvoimala	Reaktorien lukumäärä *	Tyyppi	Nettosähköteho * [MW]	Ensimmäinen verkkoon kytkentä
Kaiga	4	PHWR**	808	1999
Kakrapar	2(2)	PHWR	404(1260)	1992
Kudankulam	1(1)	PWR	917(917)	2013
Madras	2	PHWR	410	1983
Narora	2	PHWR	404	1989
PFBR	(1)	FBR***	(470)	-
Rajasthan	6(1)	PHWR	1085(630)	1972
Tarapur	4	2xBWR, 2xPHWR	1280	1969

\* Suluissa on merkitty rakenteilla olevien ydinvoimaloiden lukumäärä ja nettosähköteho.

\*\* PHWR on raskasta vettä hidastimena ja jäähdytteenä käyttävä ydinvoimalaitos.

\*\*\* FBR on hyötöreaktori, jolla tuotetaan omaa fissiiliä polttoainetta toisesta polttoaineesta.

Intia sijaitsee Aasian mantereen eteläosassa ja sen maan rajoja kiertää mannerlaattojen rajavyöhykkeet. Intia sijoittuu keskelle pientä Intian mannerlaattaa kuvan 2 mukaisesti. Kuvassa 8 on esitetty Intian eri alueiden maanjäristysherkkyydet ja suunnitteilla, rakenteilla sekä valmiina olevien ydinvoimaloiden sijainnit.



**Kuva 8.** Intian ydinvoimalat ja maanjäristysherkkyydet. Eri alueiden magnitudirajat ovat seuraavat: Punainen  $> 8$ , oranssi 6,9-7,9, keltainen 4,9-6,9 ja sininen  $< 4,9$ . Kuvassa punainen atomimerkki tarkoittaa käynnissä olevaa ydinvoimalaa, oranssi rakenteilla olevaa ja harmaa ehdotettua ydinvoimalaa. (IBN live, 2011)

Kuvasta 8 huomataan, että vain Jaitapuriin ehdotettu ydinvoimala sijoittuu 6,9-7,9 momenttimagnitudin riskin omaavalle alueelle. Narorassa sijaitseva ydinvoimala sijaitsee

keskikokoisten järjestysten eli 4,9-6,9 magnitudin suuruisten järjestysten alueella, mutta jonka läheisyydessä on suurempien järjestysten riskialue. Loput valmiit tai rakenteilla olevat ydinvoimalat sijoittuvat alueille, joissa voidaan olettaa tapahtuvan pienempiä maanjäristyksiä. Intia on siis maanjäristysherkkää aluetta varsinkin Pohjois-Intiasta, jossa mannerlaattojen yhtymäkohta on aivan valtionrajan tuntumassa.

Sudhindra Thakur, Intian atomienergiayhtiön toimitusjohtaja, sanoo Naroran laitoksen suunnittelun itsessään pitävän huolen seismisistä riskeistä ja että laitos kestää maanjäristyksiä aina seitsemän Richterin magnitudiin asti. Momenttimagnitudia ja Richterin magnitudia ei voida suoraan verrata toisiinsa, mutta tämän kokoluokan järjestyksissä suurta eroa maanjäristysten voimakkuuksissa ei tule. (The Economic Times, 2011)

Jaitapurin laitoksen kestävyyyteen maanjäristystilanteissa on otettu kantaa mm. Greenpeacen toimesta ja Intian atomienergiayhtiö (NPCIL) kertookin vuoden 2012 lehdistötiedotteessaan Jaitapurin laitokselle tehtyjen seismoteknisten tutkimusten laajuudesta laitospaikkaa valittaessa vuosina 2003–2005. Tutkimuksissa päädyttiin tulokseen, jossa maankuoren kiihtyvyyden huippuarvo voi saavuttaa laitosalueella arvon 0,3 g. NPCIL hyödynsi tutkimuksissa alueella aikaisemmin tapahtuneita järjestyksiä, jotta se pystyi käyttämään ydinvoimalaitoksen suunnittelussa ja rakennuksessa riittävää konservatiivisuutta mahdollisten riskien arvioinnissa. Lopputuloksena päädyttiin seismisyyden riittävään huomiointiin kaikissa Intian ydinvoimaloissa. (NPCIL, 2012)

### **3.5 Muut pienemmän maanjäristysriskin valtiot**

Tässä luvussa käydään läpi Espanjan ja Iranin maanjäristysaktiivisuus ja sen vaikutus maiden ydinvoimaturvallisuuteen. Nämä valtiot käydään läpi omina kappaleinaan, koska kumpikin valtio sijaitsee mannerlaattojen liitoskohdan läheisyydessä, mutta joissa ei tilastojen perusteella voida olettaa tapahtuvan yhtä suuria järjestyksiä kuin aikaisemmin läpikäytyissä valtioissa.



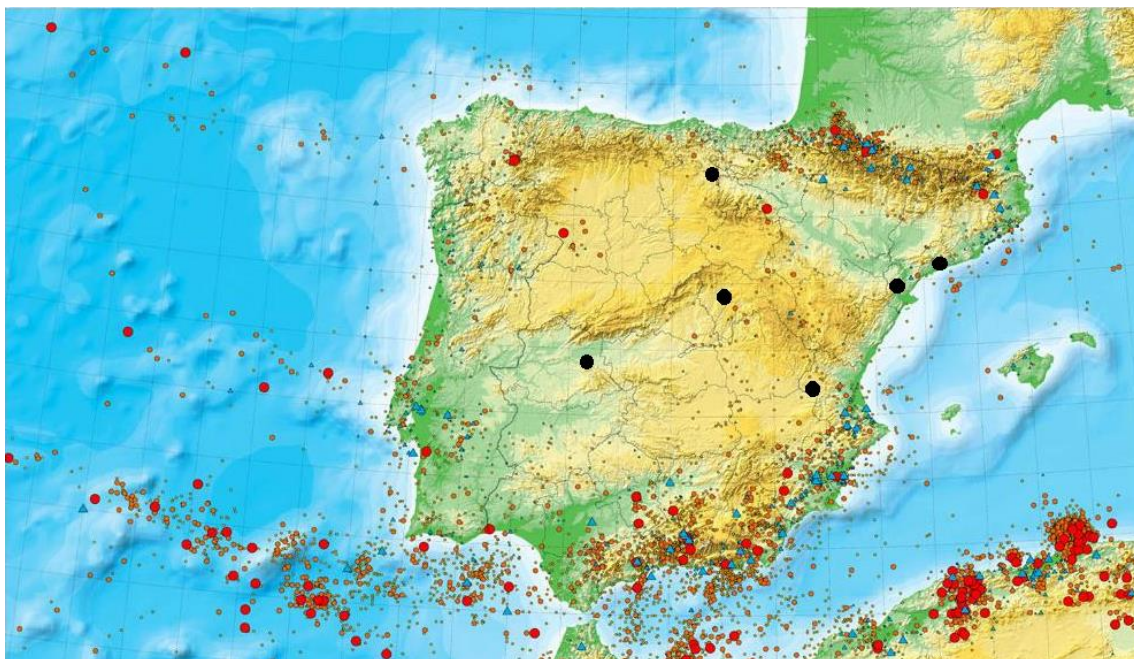
### 3.5.1 Espanja

Taulukossa 9 on esitetty Espanjan toiminnassa olevat ydinreaktorit.

**Taulukko 9.** Espanjan toiminnassa olevat ydinreaktorit (IAEA, 2012c).

Reaktori	Nettosähköteho [MW]	Ensimmäinen verk- koon kytkentä	Tyyppi
Almaraz 1	1011	1981	PWR
Almaraz 2	1006	1983	PWR
Asco 1	995	1983	PWR
Asco 2	997	1985	PWR
Cofrentes	1064	1984	BWR
Santa Maria De Garona	446	1971	BWR
Trillo 1	1003	1988	PWR
Vandellos 2	1045	1987	PWR

Espanjassa on tapahtunut kaksi tuhoisampaa maanjäristystä ja muutama suurempi järistys Portugalin rannikolla, jotka ovat vaikuttaneet Espanjassa asti. Voimakkuudeltaan suurin oli vuonna 1755 tapahtunut Lissabonin maanjäristys, jonka episentrumi sijaitsi noin 200 km lounaaseen Cape St. Vincentistä. Järistyksen voimakkuudeksi arvioidaan 8,5-9 magnitudia (U.S. Geological Survey, 2012). Vuonna 2007 tapahtunut Pyreneiden niemimaan 6,1 magnitudin maanjäristyksen episentrumi oli samalla alueella kuin Lissabonin järistys sijaiten noin 160 km lounaaseen Cape St. Vincentistä (BSDCC, 2011). Espanjan tuhoisimpiin järistyksiin kuuluva 5,1 magnitudin maanjäristys tapahtui Lorcan kaupungin läheisyydessä Kaakkois-Espanjassa vuonna 2011 (U.S. Geological Survey, 2011). Kuvassa 9 on esitetty Espanjan ydinvoimalat, sekä Espanjan ja sen lähialueen maanjäristysaktiivisuus vuoteen 2003 asti.



**Kuva 9.** Espanjan alueen seismisyys vuoteen 2003 asti, sekä ydinvoimalat. Kuvan merkit tarkoittavat seuraavaa: Punainen ympyrä  $> 5$  Mag (Magnitudia), oranssi ympyrä  $< 5$  Mag ja musta ympyrä tarkoittaa ydinvoimalaa. (World Map, 2003; World Map, 2008)

Kuvasta nähdään, että yli viiden magnitudin maanjäristykset sijoittuvat lähes poikkeuksetta Etelä- ja Pohjois-Espanjaan, painopisteen sijoittuessa Etelä-Espanjaan. Liikuttaessa kohti Keski-Espanjaa ei enää nähdä yli viiden magnitudin maanjäristyksiä ja pienempien alle viiden magnitudin järjestyksienkin esiintyminen alkaa harventua. Kuvasta 9 huomataan, ettei Espanjassa toiminnassa olevien ydinvoimaloiden kohdalla tai läheisyydessä ole tapahtunut yli viiden magnitudin maanjäristyksiä.

### 3.5.2 Iran

Iranissa on toiminnassa vain yksi sähköntuotantoon tarkoitettu ydinvoimala, joka kytkettiin verkkoon vuonna 2011 ja joka aloitti sähkön tuotannon syyskuussa 2013. Iranissa on kuitenkin todettu olevan jopa kokoluokkaa 20 MW olevia tutkimusreaktoreita ja uraanin rikastuslaitoksia. (WNA, 2013d)

Iran sijaitsee kuvan 2 mukaisesti Arabian ja Euraasian mannerlaattojen liitoskohdassa, joten Iranin alueella voidaan olettaa tapahtuvan voimakkaitakin maanjäristyksiä. Suurim-

mat Iranissa mitatut maanjäristykset ovat huhtikuussa 2013 lähellä Pakistanin rajaa tapahtunut Sistan ja Balutsistanin 7,7 magnitudin maanjäristys (USGS, 2013) ja Tabaksen 7,8 Richterin maanjäristys vuonna 1978 Itä-Iranissa (USGS, 2012). Yli seitsemän magnitudin järjestyksiä on Iranissa tapahtunut viimeisen sadan vuoden aikana yli 10 ja yli kuuden magnitudin järjestyksiä suunnilleen yhtä paljon (USGS, 2012).

Kuvassa 10 on esitetty Iranin tällä hetkellä tiedossa olevat ydinvoimaan liittyvät alueet, tutkimusreaktorit, uraanikaivokset ja näiden läheisyydessä sijaitseva sotilasalue.



**Kuva 10.** Iranin tiedossa olevat ydinvoima-alueet (BBC news, 2012).

Iranin ainoa sähköntuotantoon tarkoitettu Bushehrin ydinvoimala koki huhti- ja touku-kuussa 2013 useita maanjäristyksiä suurimman järjestyksen ollessa 7,7 momenttimagnitudia. Laitos on suunniteltu kestävämmän 8 momenttimagnitudin järjestyksiä, mutta edellä mainitut järjestykset aiheuttivat kuitenkin halkeamia betonirakenteissa. Mitään turvallisuuteen vaikuttavia vaurioita ei kuitenkaan syntynyt, vaikkakin voimalan perustukset on tehty 1970-luvulla ja niiden kestävyttä suuremmissa maanjäristyksissä on epäilty. (WNA, 2013d)

## 4 EUROOPAN STRESSITESTIT

Euroopan stressitestit tehtiin Fukushimaonnettomuuden seurauksena ja lokakuun 4. päivänä 2012 Euroopan komissio julkaisi saadut tulokset (Europa, 2012). Stressitestit sisälsivät kaikki EU:n alueella sijaitsevat 145 ydinreaktoria 15:ssä eri jäsenmaassa. Stressitestien ensimmäinen tavoite oli selvittää ydinvoimaloiden turvallisuus ja kestävyys äärimmäisissä luonnon aiheuttamissa tapahtumissa, jotka pystyvät sulkemaan laitoksen normaalit turvajärjestelmät kuten Fukushimaa. Toinen tavoite oli selvittää voimaloiden kyky selviytyä vakavista onnettomuuksista. Stressitestit suoritettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa laitosten operaattorit suorittivat laitoksen turvajärjestelyistä itse-arvioinnin ja tekivät parannusehdotuksia, seuraten Euroopan ydinvoimaturvallisuuden valvojen ryhmän asettamia määräyksiä (ENSREG). Toisessa vaiheessa valtionsisäiset valvojat tarkastivat operaattoreiden arvioinnit ja asettivat tarvittavia vaatimuksia ja suosituksia. Kolmannessa vaiheessa suoritettiin vertaisarviointi edellisen vaiheen raporteista Euroopan jäsenmaiden asiantuntijoiden avulla. Se käsitteli ENSREG:n stressiteille asettamien määräysten ja yksityiskohtien noudattamista. Lisäksi kolmannessa vaiheessa tunnistettiin hyviä käytäntöjä, heikkouksia ja suosituksia voimaloiden kestävyyskehittämiseen. Stressitesteissä huomioitiin erityisesti Fukushimaonnettomuus ja siitä saadut opit. Testeistä löytyikin useita osa-alueita, joissa tarvittavia laatuvaatimuksia ja käytäntöjä ei täytetty. Näihin kuului:

- Maanjäristysvaara: 54:n reaktorin suunnittelussa ei ollut käytetty nykyaikaisia standardeja maanjäristysten riskin määrittämisessä. Riskin määrittämisen pitäisi pohjautua 10000 vuoden pituisiin tilastoihin, mutta usein tyydyttiin paljon suppeampiin tilastoihin.
- Tulvariski: 62:n reaktorin suunnittelussa ei ollut käytetty nykyaikaisia standardeja vastaavia tulvariskin arviointimenetelmiä. Riskin määrittämisen pitäisi pohjautua 10000 vuoden pituisiin tilastoihin, mutta usein tyydyttiin paljon pienempään aikaväliin.
- Pienimmän seismisen riskin taso: 65:ssä reaktorissa ei ollut huomioitu kansainvälisesti suositellun pienimmän seismisen riskin tasoa seismisen riskin tutkimuksissa. Vaikka alue on altistuksessa pienemmälle seismiselle vaaralle, tulee pienintä seismisen riskin tasoa 0,1g käyttää tutkimuksissa ja suunnittelussa.

- Laitoksen seisminen mittalaitteisto: Jokaisella ydinvoimalalla tulisi olla seisminen mittalaitteisto, joka pystyy mittaamaan ja hälyttämään mahdollisista maanjäristyksistä. Mittalaitteistoja tulisi asentaa tai parantaa 121 reaktorille.

Stressitesteistä tehdystä säteilyturvakeskuksen loppuraportista käy ilmi, että myös Suomen laitoksissa on parannettavaa (STUK, 2012). Parannettavaa löytyi sekä Loviisan että Olkiluodon laitoksista, joiden suunnittelussa ei alkujaan huomioitu maanjäristyksiä lainkaan. Stressitesteissä huomioitiin lisätutkimuksen tarvetta käytetyn polttoaineen altaiden ja sammutusvesijärjestelmien rakenteiden kestävyudessa maanjäristystilanteessa. Myöskään sääilmiöiden huomioiminen ei ollut nykyisten säädösten vaatimalla tasolla. Lisäksi Loviisan laitoksen turvamarginaaliin meriveden nousun varalta vaadittiin parannusta. Vaikka Suomessa ydinvoimaloiden turvallisuutta on parannettu käyttöönoton jälkeen, nosti Fukushima onnettomuus esiin parannusesityksiä nimenomaan käyvillä laitoksilla. Sen sijaan äärimmäiset luonnonilmiöt oli huomioitu rakenteilla olevan Olkiluoto kolmosen suunnittelussa riittävällä tarkkuudella. (STUK, 2012)

## 5 YHTEENVETO

Keskustelu ydinvoimaloiden turvallisuudesta ulkoisia uhkia kohtaan heräsi Fukushima onnettomuuden johdosta ja ydinvoimaloiden varautumista maanjäristyksiä kohtaan alettiin tarkastella ympäri maailmaa. Maanjäristyksiä ei nykytekniikalla ja resursseilla voida tarkasti ennustaa, mutta perustuen alueella aikaisemmin tapahtuneisiin maanjäristyksiin voidaan riittävän suurelle aikavälille antaa todennäköisyyksiä maanjäristysten esiintymiselle ja voimakkuuksille.

IAEA antaa suosituksia maanjäristysten huomioimiseen suunnittelussa ja rakentamisessa. IAEA suosittelee tietokannan luomista, johon tilastoidaan alueella tapahtuneet maaperän liikkeet ja näihin liittyvät tiedot. Tietokantaa voidaan hyödyntää PSA:n avulla ja suunnitteluvaiheessa voidaan arvioida maanjäristysten aiheuttaman riskin suuruutta, todennäköisyyttä ja vakavuutta ydinvoimalalle. Riippumatta alueen seismisestä uhasta, tulisi ydinvoimala IAEA:n suositusten mukaan rakentaa kestävämmän vähintään maanpinnan kiihtyvyyden arvo 0,1 g.

Yhdysvalloissa Fukushima onnettomuuden herättämä keskustelu sai aikaan tutkimuksia, joissa mm. havaittiin, että maanjäristykset voivat siirtyä siirrokselta toiseen ja näin vahvistua. Tätä maanjäristyksen vahvistumista voisi tapahtua Diablo Canyonin ydinvoimalan läheisyydessä sijaitsevan Hosgrin siirroksen yhteydessä ja näin ollen aiheuttaa suurempia maanjäristyksiä kuin mitä ydinvoimalan suunnitteluvaiheessa oli arvioitu voivan tapahtua. Yhdysvalloissa tapahtui vuonna 2011 ensimmäinen ydinvoimalan suunnitteluperustan ylitys, kun North Annan ydinvoimalassa tapahtui pikasulku 5,8 magnitudin maanjäristyksen johdosta. Ydinvoimala ei kärsinyt minkäänlaisia vaurioita, vaikka maanjäristyksestä syntynyt maankuoren kiihtyvyys saavutti arvon 0,26 g, ydinvoimalan suunnitteluperustan arvon ollessa 0,18 g.

Japanin kaikki ydinvoimalat ajettiin alas Fukushima onnettomuuden seurauksena, mutta niitä on sittemmin suunniteltu ajettavan takaisin ylös. Jotta ydinvoimalat saavat luvan käynnistää uudelleen ydinreaktorinsa, täytyy niiden tehdä selonteko NRA:lle ydinvoimaloiden turvallisuusjärjestelyistä ja toteuttaa tarvittavat parannukset. Fukushima onnettomuus osoitti, että Fukushima laitoksissa ei ollut valmistauduttu riittävästi maanjäristyksiin ja sen aiheuttamiin oheisilmiöihin. Vaikka Fukushima ydinvoimalan tuhoutumisen

kannalta ratkaisevin tekijä oli maanjäristyksen synnyttämä hyökyaalto, ylitti maanjäristyksen aiheuttama maankuoren liike Fukushima Daiichin laitoksen suunnitteluperustan maksimikiihtyvyyden arvon 20 %:lla. Laitoksen alueen maanjäristysvaara oli siis arvioitu liian pieneksi ydinvoimalan suunnittelu- ja rakennushetkellä. Hamaokan ydinvoimalan alueella on ennustettu tapahtuvan lähitulevaisuudessa noin 8,5 magnitudin suuruinen maanjäristys. Ennen ydinvoimalan alasajoa vuonna 2011, voimala päivitettiin kestävämmän maankuoren kiihtyvyyden arvo 1 g.

Intia sijaitsee mannerlaattojen liitoskohdassa ja varsinkin Pohjois-Intiassa tapahtuu erittäin voimakkaita järjestyksiä. Yksikään Intian käynnissä tai suunnitteilla olevista ydinvoimaloista ei sijoitu suuren, yli kahdeksan magnitudin maanjäristysriskin alueelle, mutta voimakkaitakin maanjäristyksiä ydinvoimaloiden läheisyydessä saattaa tapahtua. Intian voimaloiden suunnittelussa maanjäristykset on huomioitu ja suuremman maanjäristysriskin omaavilla alueilla sijaitsevat laitokset kestävät mm. seitsemän magnitudin maanjäristyksen.

Espanjan alueella on menneisyydessä tapahtunut isojakoin maanjäristyksiä, mutta ydinvoimaloiden läheisyydessä ei ole tapahtunut yli viiden magnitudin maanjäristyksiä. Toisinkuin Iranissa, jossa on viimeisen sadan vuoden aikana tapahtunut useita yli kuuden ja seitsemän magnitudin järjestyksiä. Iranissa on useita tutkimusreaktoreita ja Bushehrin sähköntuotantoon tarkoitettu ydinvoimala, jonka perustukset on tehty 1970-luvulla. Bushehrin laitoksen betonirakenteet kärsivätkin vaurioita vuoden 2013 maanjäristyksissä, mutta järjestykset eivät kuitenkaan aiheuttaneet minkäänlaista haittaa laitoksen turvallisuuteen.

Euroopan ydinvoimalaitoksille suoritettavat stressitestit sisälsivät kaikki Euroopan alueella sijaitsevaa 145 ydinvoimalaa. Testeissä löydettiin puutteita, niin Suomen, kuin Euroopan ydinvoimaloissa. Parannettavaa löytyi Suomessa sekä Loviisan, että Olkiluodon laitoksista, joissa ei alkujaan huomioitu maanjäristyksiä lainkaan. Myöskään sääilmiöiden huomioiminen ei ole nykyisten säädösten vaatimalla tasolla. Stressitesteissä huomioitiin lisätutkimuksen tarvetta käytetyn polttoaineen altaiden ja sammutusvesijärjestelmien rakenteiden kestävyudessa maanjäristystilanteessa.

## LÄHDELUETTELO

AGGA. 2013. What causes Earthquakes? [Australian Government Geoscience Australia:n www-sivuilla] Päivitetty 26.8.2013, [viitattu 19.1.2014] Saatavissa: <http://www.ga.gov.au/hazards/earthquakes/earthquake-basics/causes.html>

Andrews Anthony. 2011. Nuclear Power Plant Sites: Maps of Seismic Hazards and Population Centers. [Federation of American Scientist:n www-sivuilla] Päivitetty 31.3.2011, [viitattu 11.4.2013] Saatavissa: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R41729.pdf>

BBC news. 2012. Iran's key nuclear sites. [BBC:n www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: <http://www.bbc.co.uk/news/world-middle-east-11927720>

BSDCC. 2011. Magnitude 6,0 quake near Azores-Cape St. Vincent Ridge, Portugal. [Broadband Seismic Data Collection Center:n www-sivuilla] Päivitetty 25.1.2011, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: [http://eqinfo.ucsd.edu/special\\_events/2007/043/a/index.php](http://eqinfo.ucsd.edu/special_events/2007/043/a/index.php)

CEC. 2011a. Integrated energy policy report. [California energy commission:n www-sivuilla] viitattu 28.1.2014. Saatavissa: <http://www.energy.ca.gov/2011publications/CEC-100-2011-001/CEC-100-2011-001-CMF.pdf>

CEC. 2011b. Faults Near DCP: Sources of Uncertainty. [California energy commission:n www-sivuilla] viitattu 15.10.2014. Saatavissa: [http://www.energy.ca.gov/2013\\_energypolicy/documents/2013-06-19\\_workshop/presentations/07\\_Hardebeck\\_CEC\\_6-19-2013.pdf](http://www.energy.ca.gov/2013_energypolicy/documents/2013-06-19_workshop/presentations/07_Hardebeck_CEC_6-19-2013.pdf)

Destination360. 2006. California Map. [Destination360:n www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: <http://www.destination360.com/north-america/us/california/map>



Dominion. 2013. North Anna Power Station. [Dominionin www-sivuilla] Päivitetty 15.11.2013, [viitattu 17.11.2013] Saatavissa: <https://www.dom.com/about/stations/nuclear/north-anna/>

Ealing Chris & MacFarlane John. 2003. Seismic Design for Engineering Plant. Lontoo: Professional Engineering Publishing. 193 s. ISBN 1 86058 364 4.

Europa. 2012. Communication on nuclear tests. [Euroopan Unionin www-sivuilla] Päivitetty 4.10.2012, [viitattu 12.4.2013] Saatavissa: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-12-731\\_en.htm?locale=en#PR\\_metaPressRelease\\_bottom](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-731_en.htm?locale=en#PR_metaPressRelease_bottom)

Geller et al. 1997. Earthquakes Cannot Be Predicted. Science, osa 275, numero 5306, sivu 1616-1617. Saatavissa: [http://moho.ess.ucla.edu/~kagan/Geller\\_et\\_al\\_1997.pdf](http://moho.ess.ucla.edu/~kagan/Geller_et_al_1997.pdf)

Geotieteiden ja maantieteen laitos. 2012a. Magnitudi. [Helsingin yliopiston www-sivuilla] Päivitetty 12.4.2012, [viitattu 15.4.2012] Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/tieto/perustietoa.html>

Geotieteiden ja maantieteen laitos. 2012b. Magnitudi. [Helsingin yliopiston www-sivuilla] Päivitetty 12.4.2012, [viitattu 19.5.2014] Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/tieto/magnitudi.html>

Graham Andrew. 2011. Fukushima Nuclear Accident Update Log. [IAEA:n www-sivuilla] Päivitetty 19.3.2011, [viitattu 14.11.2013] Saatavissa: <http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima190311.html>

IBN live. 2011. India: Nuclear and seismological map. [CNN:n www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: <http://ibnlive.in.com/news/india-nuclear-and-seismological-map/146125-3.html>

IEA. 2013. Electricity and Heat for 2011. [IEA:n www-sivuilla] Päivitetty 16.1.2014, [viitattu 16.1.2014] Saatavissa: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?&country=WORLD&year=2011&product=ElectricityandHeat>

IAEA. 1991. Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting: a safety guide. Wien. 60 s. ISBN 92-0-123191-1

IAEA. 2002. Evaluation of seismic hazards for nuclear power plants: a safety guide. Wien. 59 s. ISBN 92-0-117302-4

IAEA. 2003. Seismic design and qualification for nuclear power plants: a safety guide. Wien. 31 s. ISBN 92-0-110703-X

IAEA. 2004. Country Nuclear Power Profiles: Japan. [IAEA:n www-sivuilla] Päivitetty 2004 [viitattu 19.1.2014] Saatavissa: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2013\\_CD/countryprofiles/Japan/Japan.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2013_CD/countryprofiles/Japan/Japan.htm)

IAEA. 2010. Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations: specific safety guide. Wien 60 s. ISBN 978-92-0-102910-2

IAEA. 2011. Report of Japanese Government to IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – Accident at TEPCO`s Fukushima Nuclear Power Stations. [IAEA:n www-sivuilla] Päivitetty 7.6.2011 [viitattu 16.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/>

IAEA. 2012a. Country Statistics: Japan. [IAEA PRIS:in www-sivuilla] Päivitetty 18.1.2014 [viitattu 19.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=JP>

IAEA. 2012b. Country Statistics: India. [IAEA PRIS:in www-sivuilla] Päivitetty 19.1.2014 [viitattu 20.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=IN>

IAEA. 2012c. Country Statistics: Spain. [IAEA PRIS:in www-sivuilla] Päivitetty 19.1.2014 [viitattu 20.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=ES>

IAEA. 2014a. The database on nuclear power reactors. [[IAEA PRIS:in www-sivuilla] Päivitetty 27.1.2014 [viitattu 28.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/pris/>

IAEA. 2014b. Country Statistics: United States of America. [IAEA PRIS:in www-sivuilla] Päivitetty 15.1.2014 [viitattu 16.1.2014] Saatavissa: <http://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>

Nuclear Power Corporation of India Limited. 2012. "It's an over-reaction to ask Kudankulam to shut down" [NPCIL:n www-sivuilla] Päivitetty 9.3.2013, [viitattu 9.3.2013] Saatavissa: [http://www.npcil.nic.in/pdf/news\\_10may2012\\_01.pdf](http://www.npcil.nic.in/pdf/news_10may2012_01.pdf)

Nuclear Power Corporation of India Limited. 2012. Seismicity Considerations for Jaitapur NPP. [NPCIL:n www-sivuilla] Päivitetty 17.1.2012, [viitattu 9.3.2013] Saatavissa: [http://www.npcil.nic.in/pdf/Seismicity\\_Considerations\\_for\\_Jaitapur\\_NPP.pdf](http://www.npcil.nic.in/pdf/Seismicity_Considerations_for_Jaitapur_NPP.pdf)

Nuclear Waste News. 2011. Diablo Operator Asks NRC to Delay Relicensing for Seismic Studies. Vuosikerta 31, numero 9, sivu 7.

Mufson Steven. 2013. San Onofre nuclear power plant to shut down. [The Washington Post:n www-sivuilla] Päivitetty 7.6.2013, [viitattu 12.11.2013] Saatavissa: [http://www.washingtonpost.com/business/economy/san-onofre-nuclear-power-plant-to-shut-down/2013/06/07/7fe3e88c-cf8c-11e2-8f6b-67f40e176f03\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/business/economy/san-onofre-nuclear-power-plant-to-shut-down/2013/06/07/7fe3e88c-cf8c-11e2-8f6b-67f40e176f03_story.html)

Peltier Robert. 2012. Dominion's North Anna station sets new standard for earthquake response. Power, Vol. 156 Issue 11, p34-40

Saillant Catherine. 2011. San Onofre nuclear plant can withstand up to 7,0 quake, is protected by a 25-foot tsunami wall, Edison says. [Los Angeles Times:in www-sivuilla] Päivitetty 14.3.2011. [viitattu 12.11.2013] Saatavissa: <http://latimesblogs.latimes.com/lanow/2011/03/san-onofre-nuclear-plant-can-withstand-quake-sunamis-officials-say.html>

Sneed David. 2010. Diablo Canyon workshop to focus on earthquakes. [The Tribunen www-sivuilla] Päivitetty 8.8.2012. [viitattu 12.11.2013] Saatavissa: <http://www.sanluisobispo.com/2010/08/08/1244213/diablo-canyon-workshop-september.html>

STUK. 2012. European Stress Tests for Nuclear Power Plants National Action Plan. [Säteilyturvakeskuksen www-sivuilla] Päivitetty 10.6.2013, [viitattu 21.1.2014] Saatavissa: [http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/fi\\_FI/fukushima-selvitykset/\\_files/88946073696944417/default/European\\_Stress\\_Test\\_-\\_National\\_Action\\_Plan\\_-\\_Finland.pdf](http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/fi_FI/fukushima-selvitykset/_files/88946073696944417/default/European_Stress_Test_-_National_Action_Plan_-_Finland.pdf)

Tekniikka & talous. 2011. Ydinvoimalat ja mannerlaatat kartalla – Viidennes ydinvoimaloista toimii järjestysherkillä alueilla. [Tekniikka & talouden www-sivuilla] Päivitetty 15.4.2012, [viitattu 15.4.2012] Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/japani/ydinvoimalat+ja+mannerlaatat+kartalla++viidennes+ydinvoimaloista+toimii+jaristysherkillä+alueilla/a593724>

The Economic Times. 2011. Narora Atomic plant can withstand quakes: NPCIL. [The Economic Timesin www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: [http://articles.economictimes.indiatimes.com/2011-03-17/news/29138682\\_1\\_nuclear-plants-strong-earthquake-magnitude-earthquake](http://articles.economictimes.indiatimes.com/2011-03-17/news/29138682_1_nuclear-plants-strong-earthquake-magnitude-earthquake)

Tojima Wako. 2014. How Onagawa Responded at the Time? [Japan atomic industrial forumin www-sivuilla] Päivitetty 1.5.2014, [viitattu 8.12.2014] Saatavissa: [http://www.jaif.or.jp/english/news/2014/201405\\_onagawa-response\\_report.pdf](http://www.jaif.or.jp/english/news/2014/201405_onagawa-response_report.pdf)

Yle. 2011. Tsunamiaalto pyyhki Tyynellämerellä – vahingot vähäisiä. [Ylen www-sivuilla] Päivitetty 6.6.2012 [viitattu 13.11.2013] Saatavissa: [http://yle.fi/uutiset/tsunamiaalto\\_pyyhki\\_tyynellamerella\\_-\\_vahingot\\_vahaisia/5324452](http://yle.fi/uutiset/tsunamiaalto_pyyhki_tyynellamerella_-_vahingot_vahaisia/5324452)

USGS. 2010. Magnitude 6.5 – Offshore Northern California. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 21.3.2014, [viitattu 9.12.2014] Saatavissa:

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/nc71338066/>

USGS. 2011. M5.1 – Spain. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 30.11.2011, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa:

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/dyfi/events/us/c0003c5s/us/index.html>

USGS. 2012a. Historic Earthquakes. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 1.11.2012, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa:

[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1755\\_11\\_01.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/events/1755_11_01.php)

USGS. 2012b. Japan: Seismicity Map – 1900 to present. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 1.11.2012, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa:

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/japan/seismicity.php>

USGS. 2012c. Largest Earthquakes in the World Since 1900. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 1.11.2012, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa:

[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10\\_largest\\_world.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php)

USGS. 2012d. Historic World Earthquakes. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 1.11.2012, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa:

[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical\\_country.php#iran](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_country.php#iran)

USGS. 2013. M7.7 – 83km E of Khahs, Iran. [U.S. Geological Survey:n www-sivuilla] Päivitetty 16.4.2013, [viitattu 17.11. 2013] Saatavissa:

<http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000g7x7#summary>

U.S.NRC. 2011. Fact Sheet on Seismic Issues for Nuclear Power Plants. [United States Nuclear Regulatory Commission:n www-sivuilla] Päivitetty 29.3.2012, [viitattu 11.4.2013] Saatavissa: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-seismic-issues.html>

WNA. 2012. Nuclear Power Plants and Earthquakes. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 10.1.2012, [viitattu 12.11.2013] Saatavissa: <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Nuclear-Power-Plants-and-Earthquakes/>

WNA. 2013a. Fukushima Accident. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 1.11.2014, [viitattu 8.12.2014] Saatavissa: <http://world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Fukushima-Accident/>

WNA. 2013b. Nuclear Power in Japan. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 13.1.2014, [viitattu 19.1.2014] Saatavissa: <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Japan/>

WNA. 2013c. Nuclear Power in Spain. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 1.9.2013, [viitattu 16.11.2013] Saatavissa: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Spain/>

WNA. 2013d. Nuclear Power in Iran. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 2013, [viitattu 16.11.2013] Saatavissa: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Iran/>

WNA. 2014. Nuclear Power in the USA. [World Nuclear Association:n www-sivuilla] Päivitetty 1.1.2014, [viitattu 28.1.2014] Saatavissa: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/USA--Nuclear-Power/>

World Map. 2003. Map of Seismicity of Spain and Portugal. [World Mapin www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: [http://mapas.owje.com/maps/10980\\_seismicity-of-spain-and-portugal.html](http://mapas.owje.com/maps/10980_seismicity-of-spain-and-portugal.html)

World Map. 2008. Nuclear power plants in Spain. [World Mapin www-sivuilla] Päivitetty 26.3.2013, [viitattu 26.3.2013] Saatavissa: [http://mapas.owje.com/maps/11096\\_nuclear-power-plants-in-spain-2008.html](http://mapas.owje.com/maps/11096_nuclear-power-plants-in-spain-2008.html)