

ENDOGEENISET HAZARDIT



Mikko Vestola

Koulun nimi

GE3-Maantiedon projekti

Opettaja: Opettajan nimi

12.11.2003

Arvosana: 10

Sisällysluettelo

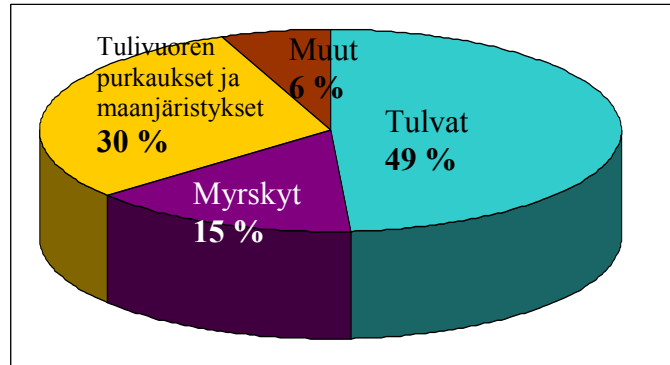
1 Johdanto	3
1.1 Endogeeniset hasardit.....	3
1.1.1 Maanjäristykset	3
1.1.2 Tulivuorenpurkaukset.....	4
1.1.3 Tsunamit	4
2 Maanjäristykset	5
2.1 Maanjäristysten synty	5
2.2 Maanjäristyksen havainnointi ja mittaus	7
2.3 Maanjäristysalueet.....	8
2.4 Maanjäristysten aiheuttamat tuhot.....	10
2.4.1 Voimakkaimmat maanjäristykset 1900-luvulla ja 2000-luvun alussa	13
2.5 Maanjäristysten ennustaminen ja niihin varautuminen	13
2.5.1 Maanjäristysten ennustaminen	13
2.5.2 Maanjäristyksiin varautuminen	16
2.6 Tuhoisimmat maanjäristykset.....	18
2.6.1 Tangshan, Kiina, 1976.....	18
2.6.1 Tangshan, Kiina, 1976.....	19
2.6.2 Kobe, Japani, 1995	20
3 Tulivuorenpurkaukset	22
3.1 Maailman toimivat tulivuoret.....	22
3.2 Tulivuorenpurkauksen synty	23
3.3 Tulivuorenpurkauksen seuraukset	24
3.4 Tulivuorenpurkaukset ennustaminen ja niihin varautuminen	26
3.4.1 Tulivuorenpurkausten ennustaminen	26
3.4.2 Tulivuorenpurkauksiin varautuminen	27
3.4.3 Saint Helens, 1980 – onnistunut purkauksenennustus	28
3.5 Voimakkaimmat tulivuorenpurkaukset	29
3.5.1 Eniten ihmishenkiä vaatineet tulivuorenpurkaukset.....	29
3.5.2 Vesuvius, v. 79	29
3.5.3 Pinatubo, 1991	31
4 Tsunamit.....	33
4.1 Tsunamin synty	33
4.1.1 Mega-tsunamit.....	34
4.2 Tsunamien aiheuttamat tuhot	36
4.2.1 Tuhoisimmat tsunamit 1800-luvun lopulta 1900-luvun loppuun.....	36
4.2.2 Tsunamien aiheuttamat tuhot	36
4.2.3 Tuhoisin tsunami Krakataun purkauksessa 1883	37
4.3 Tsunamien ennustaminen ja tuhojen ehkäisy	38
5 Endogeeniset hasardit Suomessa	39
6 Lähdeluettelo.....	41

1 Johdanto

1.1 Endogeeniset hasardit

Endogeenisilla hasardeilla tarkoitetaan sellaisia ihmiselle tai ihmisen omaisuudelle aiheutuvia vaaroja ja riskejä, jotka ovat maapallon sisäisten voimien aiheuttamia. Näistä voimista kolme tärkeintä ja tuhoisinta ovat maanjäristykset, tulivuorenpurkaukset ja usein edellisistä aiheutuvat tsunamit eli suunnattoman suuret hyökyaallot.

Kuva 1. Eri onnettomuustyyppien aiheuttamat kuolemat v. 1985–1999 (Lähde: KM: Lukio 3, s. 6)



Endogeeniset hasardit aiheuttavat onnettomuuksissa toiseksi eniten kuolemia maailmassa, tulvien ollessa kärkeijalla. Yksistään tulivuorenpurkaukset ja maanjäristykset aiheuttavat noin kolmasosan onnettomuuksia seuranneista kuolemista. Kyseessä ovat siis erittäin tuhoisat luonnonmullistukset, jotka ovat sadan viime vuoden aikana vaatineet miljoonien ihmisten hengen. (2, s.6)

1.1.1 Maanjäristykset

Maanjäristykset ovat endogeenisista hasardeista yleensä kaikkein tuhoisimpia, koska niissä menetetään eniten ihmishenkiä ja rakennuksia ynnä muuta omaisuutta tuhoutuu usein huomattavasti enemmän kuin tulivuorenpurkauksissa tai tsunamissa. Maanjäristyksiä esiintyy etenkin Maan litosfäärilaattojen saumakohdissa. Litosfäärilaattojen saumakohdissa laattojen väleihin muodostuu joskus suuria jännitteitä. Kun tämä jännitystila purkautuu ajan myötä äkillisesti, saattaa laatta siirtyä useita metrejä lyhyessä ajassa, jolloin aiheutuu voimakkaita maanjäristyksiä, joista seuraa laajoja tuhoja.



Kuva 2. Voimakas järistys ravisteli Kobea Japanissa 17.1.1995. Kuvassa romahtanut Nishinomiyako-silta.

Maanjäristysten voimakkuuksia mitataan yleensä Richterin asteikolla. Yli 5 Richterin järistykset voivat jo aiheuttaa paljon vahinkoja. Maanjäristyksiä – kuten myös litosfäärilaattojen liikkeitä – on kuitenkin erittäin vaikeaa, ellei jopa mahdotonta ennustaa, joten ihmiset eivät voi varautua järistyksiin oikeastaan muuten kuin rakentamalla järistyksenkestäviä rakennuksia. Maanjäristyksiä ei nykytietämyksellä osata mitenkään estää.

1.1.2 Tulivuorenpurkaukset

Tulivuorenpurkauksia esiintyy maanjäristysten tapaan eniten Maan litosfäärilaattojen saumakohdissa. Usein maanjäristys on syy, joka sysää tulivuorenpurkauksen käyntiin. Maailmassa on kaikkiaan noin 500 toimivaa tulivuorta ja näiden tulivuorten riskialueella elää noin 200 miljoonaa ihmistä. (2, s.21)

Riski suunnattomien ihmishenkien menetykseen on siis erittäin suuri. Tulivuorenpurkaukseen ihmisen on kuitenkin helpompi varautua kuin esimerkiksi maanjäristykseen. Tulivuori alkaa harvoin toimia varoittamatta. Tulivuorenpurkauksesta muodostuvat laavavirrat vaativat harvoin ihmisuhreja. Sen sijaan tulivuoresta purkautuvat kaasut ja tuhka sekä erilaiset purkauksesta aiheutuvat mutavyöryt sekä pyroklastiset hyöyt tappavat yleensä eniten ihmisiä. Tulivuorenpurkauksiakaan ei pystytä mitenkään nykytietämyksellä estämään.



Kuva 3. Mount Saint Helens -tulivuoren purkaus Washingtonin osavaltiossa Yhdysvalloissa 18.5.1980

1.1.3 Tsunamit

Tsunamit eli hyökyaallot saavat alkunsa useimmiten merenalaisista maanjäristyksistä, tulivuorenpurkauksista tai maanvierimistä. Nämä jättiläisaallot voivat edetä noin 700 kilometriä tunnissa ja kasvaa rannikolle päästyään kymmenien metrien korkuisiksi vesimuureiksi. Harvinaiset mega-



Kuva 4. Tsunamit kohoavat rannikoilla jättiläisaalloiksi. Kuva Anak Krakatau aiheuttamasta 6-metrisestä hyökyaallosta Indonesiassa.

tsunamit voivat kohota jopa puolen kilometrin korkuisiksi vesiseinämiksi (7). Tsunamit ovat kuitenkin yleensä uhka vain rannikkokaupungeille, mutta saavat silti aikaan suunnatonta tuhoa, koska rannikkokaupungit ovat usein tiheästi asuttuja.

Tsunamit on endogeenisista tapahtumista ehkä vaikeimpia havaittavia. Niitä on vaikea huomata avomerellä suuren aallonpituuden vuoksi ja vaikka tsunamin huomaisikin, ei evakuointiin ole yleensä tarpeeksi aikaa. Tsunamilta täysin suojautuminen, maanjäristysten ja tulivuortenpurkausten tapaan, onkin oikeastaan mahdotonta.

2 Maanjäritykset

2.1 Maanjäritysten synty

Maanjärityksellä tarkoitetaan Maan litosfäärilaattojen välisen tai laatan sisäisen jännityksen äkillisen purkautumisen aiheuttamaa tärinää. Maanjärityksiä esiintyy siksi, että Maan kuoreen patoutuu pitkällä aikavälillä suuria jännitteitä. Ne johtuvat Maan vaipan hitaista pyörreliikkeistä, jotka liikuttavat kuoriosan jäykkiä laattamaisia osia eli litosfäärilaattoja eri suuntiin. Maan kuoren laatat liikkuvat toisiinsa nähden yleensä vain muutamia senttimetrejä vuodessa. Koska litosfäärilaattojen liike on jatkuvaa, niiden törmäys- ja hankausvyöhykkeisiin kerääntyy jännitteitä laattojen välisen kitkan takia. (10, s.50)

Maanjärityksen synnyssä keskeinen asia on niin sanottu siirros. Sillä tarkoitetaan kohtaa, jossa litosfäärilaatat liikkuvat toisiinsa nähden siirroslinjaksi kutsuttua halkeamaa pitkin. Kun laattojen liike kitkan vuoksi estyy, siirros lukkiutuu ja siirroslinjan ympärille alkaa kerääntyä jännite-energiaa. Kun jännitys kasvaa tarpeeksi suureksi, jännityksen voima ylittää laattojen välisen kitkan ja silloin tapahtuu laattojen äkillinen liikkuminen, joka taas aistitaan maanjärityksenä. Litosfäärilaattojen välisiin jännityksiin sitoutunut energia kerääntyy kymmenien vuosien kuluessa ja patoutunut energia purkautuu yleensä maanjärityksessä muutamissa sekunneissa. (10, s.50)

Valtaosa voimakkaista maanjärityksistä syntyy rannikkovyöhykkeillä, joissa valtamerilaatta ja mannerlaatta painautuvat toisiaan vasten. Raskaampi valtamerilaatta työn-tyy mannerlaatan alle, jolloin muodostuu pitkä ja syvä hauta. Tällaisilla alueilla esiintyy yleensä sekä maanjärityksiä että vulkaanista toimintaa. (10, s.51)

Kuva 5. Merenpohjalaatta työntyy mannerlaatan alle.



Maanjärityksiä syntyy myös, kun laatat hankaavat toisiaan vasten. Litosfäärilaatat liikkuvat toistensa sivuitse siten, että maankuorta ei synny eikä häviä. Siirrosalueelle voi kertyä laattojen väliin vuosikymmenien aikana runsaasti energiaa, joka voi purkautua maanjärityksenä tuhoisin seurauksin. Litosfäärilaattojen ”hankausalueet” ovatkin erittäin maanjäritysherkkää aluetta. Esimerkiksi Kalifornian San Andreaxen siirros on tällaisella laattojen reuna-alueella.

(10, s.51)

Kuva 6. Laattojen liike toisiaan vasten saattaa jumiutua ja aiheuttaa jännitteitä, jotka purkautuvat järityksinä.



Erittäin maanjäristysherkkää aluetta ovat myös mannerlaattojen törmäysvyöhykkeet. Törmäysvyöhykkeillä kaksi mannerlaattaa puskevat toisiaan vasten niin, että toinen niistä työntyy hiljalleen toisen alle. Seurauksena on korkean poimuvuoriston synty, kuten esimerkiksi Himalaja. Vuoristoseuduilla esiintyykin yleensä melko usein maanjäristyksiä. (10, s.51)



Kuva 7. Mannerlaattojen törmäyksissä syntyy jännitteitä.

Maanjäristyksissä esiintyy yleensä esijäristyksiä ja jälkijäristyksiä. Esijäristys tapahtuu kerran tai useammin ennen voimakkaampaa pääjäristystä. Voimakkaan maanjäristyksen jälkeen taas tapahtuu vaihteleva määrä voimakkuudeltaan pienempiä järistyksiä. Näitä jälkijäristyksiä saattaa olla useita, joskus jopa tuhansia usean vuoden aikana, jos pääjäristys on ollut voimakas. (28)

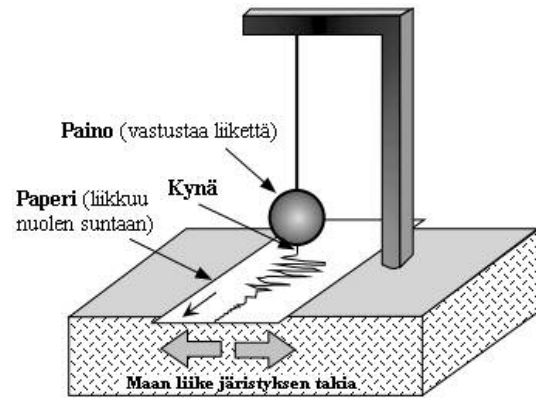
Litosfäärilaattojen äkillinen liikkahdus synnyttää niin sanottuja seismisiä aaltoja, jotka lähtevät kulkemaan maapallon läpi ja myös maapallon pintaa myöten. Etäämpänä järistyskeskuksesta tärinä leviääkin näinä seismisinä aaltoina. Seismiset aallot ovat yleisnimitys kaikille Maassa eteneville aalloille, jotka aiheutuvat luonnonilmiöistä kuten maanjäristyksistä tai ovat ihmisen aiheuttamia. Maassa voi edetä kolmentyyppisiä seismisiä aaltoja: pitkittäisiä eli P-aaltoja, poikittaisia eli S-aaltoja ja pinta-aaltoja. P-aallot etenevät maanjäristyskeskuksesta jopa Maan vastakkaiselle puolelle maan sisässä (3.d). P-aallot kulkevat lähes kaksi kertaa niin nopeasti kuin S-aallot. Näiden aaltojen saapumisaikojen erosta voidaan laskea maanjäristyksen etäisyys mittauspaikalta. Lähellä maanpintaa etenevät taasen pinta-aallot, jotka syntyvät maapallon pintakerroksissa heijastelevien ja taittuvien P- ja S-aaltojen seurauksena. Lähellä maanpintaa tapahtuvissa järistyksissä pinta-aallot sisältävät enemmän energiaa kuin muut aallot yhteensä ja ovat siten tuhoisimpia. (1, s.104–106)

Paikka, jossa maanjäristys maan sisällä tapahtuu, on maanjäristyspesäke eli hyposentrumi eli fokus. Hyposentrumin yläpuolista maanpäällistä kohtaa sanotaan taasen episentrumiksi. Koska tärinä leviää järistyskeskuksesta seismisinä aaltoina ja aallot voivat edetä jopa toiselle puolelle maapalloa, voidaan maanjäristykset yleensä havaita kaukanakin järistyspisteistä seismografien piirtämistä käyristä (10, s. 50). Järistysaallot etenevät maankuoressa tavallisesti 5-8 kilometrin sekuntinopeudella samaan tapaan kuin veteen heitetyn kiven aiheuttamat aallot. Järistyksen iskiessä kaupunkeihin ensimmäiset järistysaallot ikään kuin vetävät rakennuksilta maton alta ja seuraavat aallot saavat rakennuksen huojumaan, jolloin jäykät ja heikot rakenteet pettevät helposti. (10, s. 56)

Ihminen saattaa aiheuttaa myös omalla toiminnallaan maanjäristyksiä. Muun muassa keinotekoiset tekoaltaat ja joet aiheuttavat maankuoressa kuormitusta, jotka voivat johtaa maan värähtelyyn. Maanalaiset ydinräjäytykset taas synnyttävät päiviä kestäviä jälkijäristyksiä. Suuria maanjäristyksiä on ryhdytty hillitsemään aiheuttamalla pieniä ennakoivia maanjäristyksiä, mutta tämänlainen maanjäristysten säätelyn kehittäminen on kuitenkin vasta alussa. (2, s. 15)

2.2 Maanjärityksen havainnointi ja mittaus

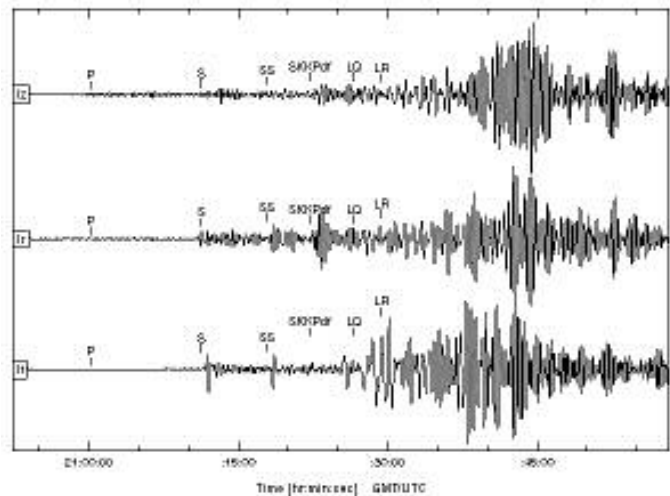
Maanjärityksiä mitataan seismografeilla, jotka rekisteröivät maanpinnan värähtelyjä. Seismografien pääosana on varsinainen ilmaisin eli seismometri. Seismometrin ilmaisemat maanvärähtelyt vahvistetaan sähköisesti ja järityksen rekisteröintijälki piirretään piirturilla näkyvään muotoon. Nykyisin rekisteröinnit talletetaan yhä useammin digitaalisesti numeerisessa muodossa tietokoneelle. Seismisen ilmiön rekisteröintiä kutsutaan seismogrammiksi. (3.e)



Kuva 8. Seismografien rakenne

Maanjäritysten voimakkuus ilmoitetaan yleensä lukemana jollain magnitudiasteikolla, joka perustuu laitehavainnointiin ja seismografilla järityksestä piirrettyyn järityskäyrään. Magnitudi kuvaa maanjärityksen voimakkuutta fyysisenä tapahtumana eikä ota huomioon esimerkiksi ollenkaan sitä, kuinka paljon rakennuksia järityksessä sortuu. Magnitudiasteikkoja on useita erilaisia, joilla sama maanjäritys voi saada hieman toisistaan poikkeavia arvoja. Magnitudiarvo voikin sisältää joskus mittausvirheitä riippuen siitä, missä järityksen voimakkuutta mitataan. Esimerkiksi Tangshanissa Kiinassa vuonna 1976 tapahtuneen tuhoisan maanjärityksen voimakkuudesta on liikkeellä useita magnitudiarvoja (7,8...8,2), jotka poikkeavat toisistaan. Magnitudi on kuitenkin erittäin käyttökelpoinen käsite, sillä järityksen magnitudi on melko nopeata määrittää ja sen avulla on suhteellisen helppo vertailla eri paikoissa tapahtuneita maanjärityksien voimakkuuksia keskenään. (31)

Kuva 9. Seismografien järityskäyrä Kobessa Japanissa 17.1.1995 tapahtuneesta 6,9 Richterin maanjärityksestä.



Magnitudiasteikoille on tyypillistä, että ne ovat logaritmisia eli tällöin magnitudin kasvaminen yhden asteen verran merkitsee maanjärityksen voimakkuuden kymmenkertaistumista. Purkautuvan seismisen energian määrä kasvaa tällöin noin 32-kertaiseksi. Esimerkiksi järityksen muuttuessa neljästä magnitudi-arvosta kuuteen, maan liike kasvaa satakertaiseksi ja vapautuvat seismisen energian määrä jo noin tuhatkertaiseksi. (1, s.106)

Magnitudiasteikoilla ei aseteta yleensä mitään ylä- tai alarajaa järityksen voimakkuudelle ja siksi niitä sanotaankin avoimiksi asteikoiksi. Nykyajan herkillä maanjäritystä mittaavilla laitteilla voidaan paikoin havaita maanjärityksiä, jotka saavat nollaa pienemmän arvon. Yleensä magnitudi kuitenkin ilmoitetaan välillä 0-10 ja se ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella. (31)

Yleisin magnitudiasteikko on 1930-luvulla Kaliforniassa Charles Richterin ja Beno Gutenbergin kehittämä logaritmiseen avoimeen asteikkoon perustuva Richterin asteikko ⁽³⁰⁾. Todistettavasti suurimmat maanjäristykset ovat olleet voimakkuudeltaan 8,9 Richterin asteikolla ja tapahtuneet Tyynenmeren rannikkoalueilla ^(3,c). Historian suurin maanjäristys on arvioitu tapahtuneen Chilessä vuonna 1960. Sen voimakkuudeksi on arvioitu 9,5 Richterin asteikolla ja se tappo 5 000 ihmistä ^(2, s.177). Suomessa havaitut maanjäristykset ovat olleet voimakkuudeltaan enintään noin 5 Richteriä ja ne eivät ole yleensä aiheuttaneet merkittävää tuhoa. ^(2, s.16)

Suurissa yksittäisissä maanjäristyksissä energiaa voi vapautua jopa 10^{19} joulea (30 000 TWh), joka vastaa Yhdysvaltain vuotuista energiankulutusta. Esimerkiksi 60 000 ihmistä tappaneessa 8,7 Richterin maanjäristyksessä Lissabonissa vuonna 1755 on arvioitu vapautuneen energiaa noin 60 000 ydinpommin verran. Maanjäristyksessä on siis energiaa suunnaton määrä. Syvyyden mukaan järistykset jaetaan mataliin (alle 60 km), keskisyviin (60–300 km) ja syviin (yli 300 km) järistyksiin. Valtaosa maanjäristyksistä tapahtuu syvällä maan sisällä. Mitä syvemmillä järistys tapahtuu, sitä vaarattomampi se on ihmisen kannalta. ^(3,a)

Taulukko 1. Maanjäristyksen aiheuttamat tuhot

Magnitudi	Järistyksen aiheuttamat tuhot
8 tai yli	Täydellinen tuho. Maanpinta liikkuu aaltomaisesti. Syntyy syviä repeämiä ja lähes kaikki rakennukset sortuvat.
7-8	Suuria tuhoja. Monet rakennukset sortuvat ja sillat romahtavat.
6-7	Vakavia vaurioita. Heikot rakenteet vaurioituvat pahoin. Maa rakoilee.
5-6	Lieviä vaurioita. Heikot rakenteet voivat vaurioituvat ja puut taipuvat.
4-5	Ikkunat helisevät. Ihminen aistii yleensä järistyksen värinän.
3-4	Ei tuhoja. Värähtely havaitaan yleensä vain laitteilla.

(Lähde: Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 48)

Maanjäristyksiä tapahtuu niin maan päällä kuin veden alla. Maanpäälliset maanjäristykset aiheuttavat suurinta välitöntä tuhoa ja merenalaiset ovat aluksi vaarattomampia. Merenalaiset maanjäristykset voivat aiheuttaa kuitenkin suuria hyökyaaltoja eli tsunameja, jotka voivat tappaa lukuisia ihmisiä ja aiheuttaa joskus tuhoja jopa enemmän kuin maanpäälliset maanjäristykset.

2.3 Maanjäristysalueet

Maanjäristyksiä tapahtuu eniten litosfäärilaattojen reuna-alueilla. Merkittävimpiä maanjäristysvyöhykkeitä ovat nuorten vuorijonojen alueet, kuten Tyynenmeren ympäristö, ja valtamerien keskiselänteet. Arvioiden mukaan 70–90 % maailman vuotuisesta seismisestä energiasta vapautuu Tyynen valtameren reunoilla. Toinen tärkeä maa-alueilla kulkeva maanjäristysvyöhyke ulottuu eteläisestä Euroopasta kohti Himalajan vuoristoa. Näillä päävyöhykkeillä maanjäristyksiä on toistuvasti ollut muun muassa Japanissa, Filippiineillä, Indonesiassa, Chilessä, Perussa, Meksikossa sekä Yhdysvalloissa Kaliforniassa ja Alaskassa. San Andreaksen siirros Kaliforniassa on ehkä kuuluisin riskialue, jossa on tapahtunut lukuisia maanjäristyksiä. San Andreaksen siirros sijaitsee sekin mannerlaattojen reuna-alueella, jossa mannerlaatat liikkuvat hitaasti eri suuntiin. Myös Euroopan maista esimerkiksi Italia, Kreikka, Turkki ja Iran ovat kärsineet järistyksistä.

Näiden lisäksi Kiinassa ilmenee toistuvasti suuria maanjäristyksiä, vaikka alue jääkin tärkeiden laattareunojen ulkopuolelle. (29)

Maanjäristysten lukumäärä maailmassa on kääntäen verrannollinen niiden voimakkuuteen. Eli se tarkoittaa sitä, että voimakkaita maanjäristyksiä sattuu harvoin ja pieniä järistyksiä sitä vastoin usein. Erityisesti lähellä maanpintaa sattuvat maanjäristykset voivat olla tuhoisia. Matalien järistysten vuotuinen lukumäärä on esitetty taulukossa 2. (2, s.12)

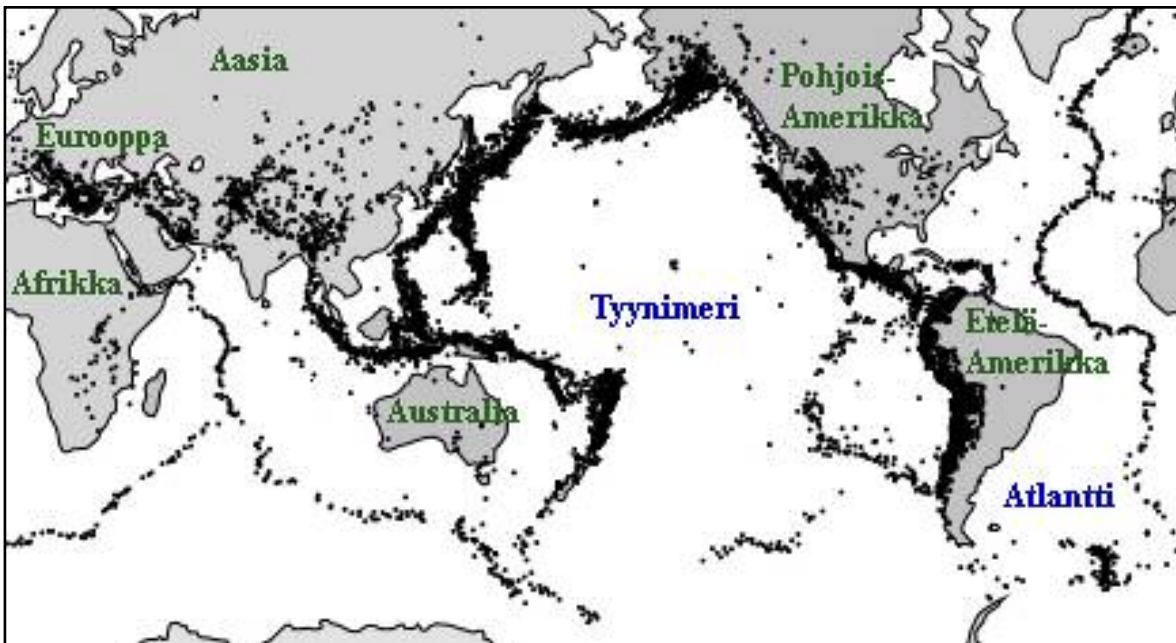
Taulukko 2. Maanjäristysten yleisyys

Magnitudi (Richteriä)	Vuotuinen esiintymismäärä
8 tai yli	1 kpl
7-8	19 kpl
6-7	120 kpl
5-6	800 kpl
4-5	6200 kpl
3-4	49 000 kpl

(Lähde: Koulun Maantieto: Lukio 3, s. 12)

Mannerlaattojen sisäosissa ei yleensä tapahdu niin paljon maanjäristyksiä kuin litosfäärilaattojen reunalueiden maissa. Riittävän ajanjakson aikana voi sisämaissakin kuitenkin sattua huomattavan suuria seismisiä hasardeja. Maa on järissyt esimerkiksi kovin epätavallisissa paikoissa kuten Lontoossa vuonna 1750 ja New Yorkissa vuonna 1884. Nämä alueet eivät sijaitse lähellä litosfäärilaattojen reunoja, joten riski suuriin järistyksiin on siksi erittäin pieni (29). Pieniä maanjäristyksiä taasen tapahtuu melkein kaikkialla – myös Suomessa. Suomesta on 1600-luvulta lähtien tietoja sadoista maanjäristyksistä, jotka mitkään eivät ole kuitenkaan aiheuttaneet merkittävää tuhoa. Usein niitä ei edes tavallinen ihminen huomaa. (27)

Kuva 10. Maapallon maanjäristysalueet (musta piste vastaa maanjäristystä)



1900-luvun tuhoisimmat maanjäristykset ovat olleet vuonna 1908 Messinassa Italiassa (110 000 kuollutta), vuonna 1920 Gansussa ja Shaanxissa Kiinassa (200 000 kuollutta), 1923 Jokohamassa ja Tokiossa Japanissa (150 000 kuollutta) sekä vuonna 1976 Tangshanissa Koillis-Kiinassa (arvi-

olta jopa 655 000 kuollutta). Eri puolilla maapalloa on 1990-luvullakin sattunut useita tuhoisia maanjäristyksiä. Voimakas järistys Länsi-Iranissa vuonna 1990 surmasi noin 50 000 ihmistä. (10, s.53)

2.4 Maanjäristysten aiheuttamat tuhot

Maanjäristys ei itse sinänsä aiheuta ihmishenkien menetyksiä vaan järistyksen uhreista valtaosa menehtyy maankamaran värähtelyn välittömiin seurauksiin, kuten rakennusten ja siltojen sortumiseen tärinän vaikutuksesta ja maanvyörymiin. Ihmisiä menehtyy myös tulipaloihin, joita voi esiintyä maanjäristyksen iskettyä kaupunkeihin. Tulipalot aiheutuvat yleensä oikosuluista ja kaa-suputkien katkeamisista. Pelastustoimet ovat yleensä vaikeita, koska järistyksen jälkeen sähköt ovat yleensä poikki eivätkä vesijohdotkaan kestä usein järistysten tärinää. Liikenne on myös yleensä kaaoksessa kun sillat ovat sortuneet ja tienpinta halkeillut.

Maanjäristyksen voimakkuus ei välttämättä kerro mitään sen tuhovoimasta. Keskisuurukin maanjäristys voi aiheuttaa valtavia tuhoja ja ihmishenkien menetyksiä, jos maanjäristys sattuu tiheään asutulla alueella. Esimerkiksi Etelä-Alaskassa koettiin yksi viime vuosisadan voimakkain maanjäristys (8,4 Richteriä) vuonna 1964. Uhrien määrä jäi kuitenkin ”vain” 131:een. Kiinaa ravistelleessa vuoden 1976 maanjäristyksessä taas kuoli eräiden arvioiden mukaan jopa yli 650 000 ihmistä. Järistyksen voimakkuus Kiinassa oli 8 Richteriä eli vähemmän kuin Alaskassa, mutta tuhot olivat suuremmat, koska Kiinan kaupungit ovat yleensä erittäin tiheään asuttuja. (10, s. 52)

Taulukko 3. Järistysalttiita kaupunkeja

Sadan viime vuoden aikana maanjäristykset ovat vaatineet noin 1,5 miljoonan ihmishengen menetyksen (2, s.10) ja suuronnettomuuksien riski kasvaa entisestään, kun väestö siirtyy kaupunkeihin, jolloin kaupungeista tulee yhä tiheämmin asuttuja. Nykyään yli kahdeksan miljoonan asukkaan kaupunkeja on YK:n tilastojen mukaan lähes kolmekymmentä ja niiden määrän uskotaan kasvavan lähitulevaisuudessa. Noin kolmasosa näistä yli kahdeksan miljoonan ihmisen kaupungeista sijaitsee erittäin maanjäristysherkillä alueilla. Siksi riski todella suuriin, paljon ihmishenkiä vaativiin, katastrofeihin on erittäin suuri. (10, s. 48)

Paikka ja valtio	Asukasluku	Järistyksen riski
Tokio, Japani	11,6 milj.	Erittäin suuri
Mexico City, Meksiko	16,3 milj.	Suuri
Beijing, Kiina	14,2 milj.	Suuri
Jakarta, Indonesia	14,0 milj.	Erittäin suuri
Los Angeles, Yhdysvallat	13,1 milj.	Suuri
Manila, Filippiinit	10,8 milj.	Erittäin suuri
Osaka, Japani	10,6 milj.	Erittäin suuri
Istanbul, Turkki	9,3 milj.	Melko suuri
Teheran, Iran	7,3 milj.	Suuri
San Francisco, Yhdysvallat	6,0 milj.	Erittäin suuri
Santiago, Chile	5,4 milj.	Erittäin suuri
Ateena, Kreikka	3,8 milj.	Suuri

Lähde: Tieteen Kuvalehti 2/2000 s. 55

Tuhojen laajuudessa on merkittävää se, kuinka valtiot ovat varautuneet pahimpiin maanjäristyksiin. Suurin merkitys on sillä, kuinka heikko maanjäristyksen vaikutuspiirissä oleva rakennuskanta on. Jos talot ja muut rakenteet on rakennettu maanjäristyksiä heikosti kestävästä materiaaleista, voimakas ja myös keskisuuri maanjäristys saattaa pyyhkäistä koko rakennuskannan maan tasalle ja viedä mukanaan kymmenien tuhansien ihmisten hengen. Näin käy usein kehitysmaissa, joilla ei ole varaa rakentaa huippumoderneja maanjäristyksen kestäviä rakennelmia toisin kuin teollisuusmaissa. Esimerkiksi Armeniassa maanjäristys ravisteli maan luoteisosaa voimakkuudella 6,9 Richteriä. Luonnonmullistus vaati lopulta yli 25 000 ihmisen hengen ja monet talot romahtivat kasaan. Sen sijaan San Franciscossa Kaliforniassa, jossa on jo pitkään rakennettu maanjäristyksen kestäviä kerrostaloja, maanjäristys – voimakkuudeltaan 7,2 Richterin asteikolla – aiheutti ”vain” 62 ihmisen kuoleman (10, s.56–57). Yleensä maanjäristykset, joiden voimakkuus on alle 5 Richterin asteikolla, eivät juuri aiheuta merkittäviä tuhoja. Tietävästi tuhoisin maanjäristys tapahtui vuonna 1556 Shaanxissa Kiinassa, jolloin arviolta 830 000 ihmistä menetti henkensä. (2, s. 177)

Joissain maissa – kuten Turkissa, Japanissa ja Yhdysvalloissa – on asetettu määräyksiä sille, kuinka kestäviksi rakennukset pitää rakentaa, jotta ne kestäisivät voimakkaita maanjäristyksiä. On kuitenkin tapauksia, joissa rakennusyhtiöt ovat suhtautuneet näihin määräyksiin välinpitämättömästi ja kustannusten minimoimiseksi rakennusyhtiöt ovat rakentaneet rakennusmääräysten vastaisia heikompirakenteisia rakennuksia. Näin tapahtui esimerkiksi Turkissa, josta seurasi vakavia tuhoja, kun maa järisi siellä 7,4 Richterin asteen voimakkuudella 17. elokuuta vuonna 1999 kohtalokkain seurauksin. Noin 17 000 menetti henkensä, kun jyrkät rakennusmääräysten vastaiset betonirakennukset luhistuivat kuin korttitalot. (10, s. 48–57)

Turkin rakennuslainsäädäntö on suunnilleen sama kuin Kaliforniassa, eli rakennusten pitäisi kestää järistyksiä hyvin. Kuitenkin iso osa nykyaikaisista rakennuksista sortui Turkin maanjäristyksessä, koska rakennusyhtiöt olivat tinkineet kustannuksista ja laiminlyöneet rakennusmääräyksiä, jolloin talot eivät kestäneet maan liikehtimistä. Turkissa rakennusyhtiöiden ja myös valvontavollisuutensa laiminlyöneiden rakennustarkastajien asenteissa on selvästikin vikaa ja tästä välinpitämättömästä asenteesta on nyt maksettu korkea hinta. Maanjäristyksen tuhoista koituvat menot ylittävät yleensä moninkertaisesti turvarakenteista aiheutuvat lisäkustannukset, joten heikkojen rakennusten rakentaminen maanjäristysherkille alueille saattaa tuntua hieman oudolta. (10, s. 57)

Maanjäristyksen tuhot johtuvat suurimmaksi osaksi pinta-aalloista, jotka saavat rakennukset tärähtelemään ja sortumaan. Pinta-aallot katkovat myös siltoja, teitä sekä öljy- ja kaasuputkia. Sen sijaan hyposentrumista lähtevät P- ja S-aalloilla on vähäisempi merkitys. Vahinkojen suuruuteen vaikuttavat eniten järistyksen voimakkuus ja järistyksen kesto. Myös maanjäristyksen syvyys on ratkaiseva tuhojen kannalta. Tuhot ovat pahimpia silloin, kun hyposentrumi sijaitsee alle 40 kilometrin syvyydessä. Tämän lisäksi myös paikan etäisyys episentrumista sekä paikan maaperä vaikuttavat järistyksen tuhovoimaan. Mitä lähempänä episentrumia alue sijaitsee, sitä pahempia ovat tuhot. (2, s. 11)

Parhaiten järityksestä selviävät rakennelmat, jotka ovat rakennettu kallioille. Sen sijaan eniten kärsivät huonosti tiivistetyn täytemaan päälle pystytetyt rakennukset. Maanjäristyksessä tärkeä maa saattaa alkaa käyttäytyä nesteen tavoin, jolloin rakennukset voivat vajota tai jopa upota kokonaan maan sisään. Vaikka kallioperä onkin turvallisin paikka rakentaa, ovat vuorten rinteet erityisen vaarallisia järityksen sattuessa. Tiheään rakennetuissa alueissa rakennukset voivat sortua rinteillä alempana olevien rakennelmien päälle ja aiheuttaa näin laajoja ketjusortumisia. (2, s. 11)

Vuorenrinteillä tapahtuu myös usein maanvieremiä järityksen iskiessä. Maanvieremät voivat pyyhkäistä joskus kokonaisen kylän maan tasalle, etenkin jos kylä sattuu sijaitsemaan vuoren läheisessä laaksossa. Erityisen vaarallisia ovat vuorenrinteet, joilla ei ole laisinkaan kasvullisuutta. Puun juuret sitovat tehokkaasti maata, jolloin maanvieremän riski on pieni. Sen sijaan puuton märkä maaperä liettyä värinä ja voi lähteä liikkeelle muta- tai maavyörynä alas rinnettä aiheuttaen laajaa tuhoa. (2, s. 11–12)

Kuva 11. Teille sortuneet rakennukset vaikeuttavat pelastustoimia järitysalueilla.



Maanjäristyksen isettyä sortuneiden rakennusten raunioissa on usein runsaasti kuolleita ja loukkaantuneita. Siksi taudit, kuten kolera, saattavat levitä nopeasti. Rauniot onkin sen vuoksi raivattava nopeasti, etenkin lämpimän ilmaston maissa. Pelastustoimet ovat kuitenkin hankalia tieyhteyksien ja sähköjen ollessa poikki. (2, s. 12)

Yleensä maanjäristyksessä henkensä menettäneiden lukumäärä on vain arvio, koska kuolleista on usein vaikea saada tarkkaa tietoa, etenkin kehitysmaissa.

Kuolleiden määrä kasvaa yleensä järityksen jälkeenkin, kun vakavasti loukkaantuneet ihmiset menehtyvät ja tietoja kuolleista kertyy lisää. Tämän takia maanjäristyksessä kuolleiden määrä vaihtelee paljon tilastoissa. Maanjäristystuhojen lopullisessa selvityksessä virallinen luku on varmuudella todettu uhrien määrä, mutta usein kuolleiden määrä on todellisuudessa suurempi kuin virallinen luku. Suurissa järityksissä menehtyneiden määrä voi olla jopa useita kymmeniä tuhansia virallista lukua suurempi. (2, s. 12)

Viimeisin merkittävä maanjäristys tapahtui Japanin pääkaupungissa Tokiossa ja sen ympäristössä 14. lokakuuta vuonna 2003. Sen järityspiste oli Tokionlahdella ja se ravisteli pääkaupunkia ja sen lähialueita voimakkuudella 5 Richterin asteikolla. Järityks ei kuitenkaan aiheuttanut suuria tuhoja, eikä myöskään tsunamivaroitusta jouduttu onneksi antamaan. Voi vain kuvitella kuinka suurta tuhoa ja hävitystä suurempi maanjäristys olisi aiheuttanut Tokion kaltaisessa suurkaupungissa, jossa asuu esikaupungit mukaan lukien noin 33,1 miljoonia ihmistä (3.h).

2.4.1 Voimakkaimmat maanjäristykset 1900-luvulla ja 2000-luvun alussa

Taulukko 4. Voimakkaimmat maanjäristykset 1900-luvulla ja 2000-luvun alussa

Vuosi	Paikka tai valtio	Voimakkuus / Richteriä	Kuolleita
1906	San Francisco, Yhdysvallat	8,3	3 000
1908	Messina, Italia	7,5	110 000
1920	Gansu ja Shaanxi, Kiina	8,6	200 000
1923	Jokohama ja Tokio, Japani	8,3	143 000
1927	Xining, Kiina	8,3	200 000
1939	Erzincan, Turkki	8,0	32 700
1948	Turkmenistan	7,3	110 000
1960	Agadir, Marokko	5,8	15 000
1964	Etelä-Alaska	8,4	131
1970	Pohjois-Peru	7,8	67 000
1976	Guatemala	7,5	22 780
1976	Tangshan, Kiina	8,0	655 000
1985	Mexico, Meksiko	8,1	9 500
1988	Armenia	6,9	25 000
1989	San Francisco, Yhdysvallat	7,1	62
1990	Länsi-Iran	7,7	50 000
1993	Latur, Intia	6,4	9 750
1995	Kobe, Japani	6,9	5 500
1999	Izmit, Turkki	7,4	17 000
2001	Gujarat, Intia	6,9	20 000

(Lähde: Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 53 & Koulun Maantieto: Lukio 3 s. 177)

2.5 Maanjäristysten ennustaminen ja niihin varautuminen

2.5.1 Maanjäristysten ennustaminen

Maanjäristyksiä ei voida nykyteknologian avulla mitenkään estää eikä niitä voida nykytietämyksen avulla kovin tarkasti ennustaa. Ihmisten evakuointi vaara-alueelta ennen järistystä on lähes mahdotonta. Siinä on onnistuttu vain joissain poikkeustapauksissa. Ennustusten tulosta heikentää se, että muutamankin väärän hälytyksen ja turhan evakuoinnin jälkeen ihmiset eivät enää yleensä usko hälytyksiin. Maanjäristyksen ennustamisen sijaan puhutaankin usein ennakkoinnista, koska järistystä ei yleensä koskaan pystytä täysin ennustamaan. Esimerkiksi Kaliforniassa lokakuussa

1989 sattunut Loma Prietan maanjäristys oli ennakoitu, mutta ei ennustettu. Monien tutkijoiden mielestä maanjäristysten ennustaminen onkin vain haave, joka ei koskaan toteudu. (28)

Maanjäristysten ajankohtaa yritetään kuitenkin ennakoida tutkimalla alueen aikaisempia järistyksiä. Jos järistykset ovat toistuneet suunnilleen tasaisin väliajoin, voidaan maanjäristyksen tapahtuman todennäköisyys päätellä. Tällöin alueelta tarvitsee olla tarkkaa tietoa aiemmista järistyksistä vähintään muutaman vuoden ajalta. Etenkin Kiinassa on merkitty muistiin tietoja maanjäristyksistä jo useiden vuosituhsien ajan. (2, s. 14)

Muistiin merkitsemisen lisäksi tietoja aikaisemmista maanjäristyksistä saadaan tutkimalla maan sedimenttikerroksia. Kerrosten järkkymisen ajankohdat ovat usein näistä laskettavissa. Aikaisempien järistysten perusteella on esimerkiksi ennakoitu, että Kaliforniassa tapahtuu lähiaikoina voimakas maanjäristys, sillä sen läheisessä San Andreaxen siirroksessa suuria järistyksiä on sattunut keskimäärin 145 vuoden välein ja viimeisestä on kulunut noin 120 vuotta. Järistykset eivät kuitenkaan aina toistu säännöllisin väliajoin, koska asiaan vaikuttavat lähialueiden järistykset. Maanjäristys jossain toisessa paikassa saattaa lisätä jännitystä jollain muulla alueella. (2, s. 14–15)

Maanjäristysten vaikutusta maan sähkökentän muutoksiin on myös tutkittu ja sen käyttö ennustusmenetelmänä vaikuttaakin lupaavalta. Eräät kreikkalaistutkijat ovat kehittäneet maanjäristysten ennustusmenetelmän nimeltä VAN. Järjestelmä on koko Kreikan kattava mittaverkosto, joka havainnoi maan sähkökentän muutoksia. Jos arvot poikkeavat maanjäristysalttiilla alueella normaaleista, maanjäristys on todennäköinen. Kreikkalaistutkijoiden mukaan maan sähkökenttä muuttuu, jos kivimassoihin kohdistuva paine ja kitka muuttuvat. Näistä muutoksista on pääteltävissä maanjäristyksen olevan odotettavissa. VAN-järjestelmän avulla pystyttiinkin ennustamaan Kreikkaa kesällä vuonna 1995 ravisuttaneet kaksi maanjäristystä. Ulkomailta erityisesti Japani on kiinnostunut kreikkalaisten keksinnöstä, vaikka jotkut tutkijat epäilevätkin menetelmän luotettavuutta. Järjestelmän luotettavuus on kyseenalainen etenkin taajama-alueilla, joiden tuotantolaitokset saattavat aiheuttaa häiriöitä sähkökenttää mittaaviin mittalaitteisiin. (10, s. 52–55)

Maanjäristyksiä ennakoidaan myös tutkimalla kallioperään kertyneitä jännityksiä ja niiden kasvua. Tämän avulla saadaan hieman tietoa siitä, miten paljon jännitystä litosfäärilaattojen välillä on tietyssä paikassa. Kun jännitetasoa verrataan ennen edellistä maanjäristystä mitattuihin arvoihin, voidaan tehdä ennustus, milloin seuraava järistys todennäköisesti iskee. Jos kallioperän jännityslukemat ovat normaalia suuremmat, on mahdollista, että kyseessä on seuraava järistyspesäke. Menetelmää on kuitenkin vielä paljon kehitettävä, jotta sen perusteella voitaisiin antaa evakuointimääräyksiä. (10, s. 55–56)

Ennustuksia voidaan laatia myös tutkimalla kaivojen radonpitoisuuksia ja maanpinnan kohoamista sekä vedenkorkeutta. Nämä muuttuvat joskus selvästi ennen maanjäristystä. Esimerkiksi pohjaveden korkeuden on todettu laskevan ennen kun maa alkaa värähdellä mutta tästä ilmiöstä ei vielä tiedetä, miksi niin tapahtuu ja onko ilmiö välttämättä sidoksissa maanjäristykseen. (2, s. 15)

Vihä tulevast maanjärityksestä saattaa saada myös seuraamalla eläinten käyttäytymistä. Esimerkiksi Kiinassa ankojen ja kalojen käyttäytyminen on usein muuttunut ennen varsinaista järitystä ja tätä onkin perinteisesti käytetty Kiinassa hyväksi maanjäritysten ennakkoinnissa. Tosin eläinten käyttäytyminen muuttuu usein vain hetkeä ennen järityksen alkua, joten esimerkiksi laajamittaiseen evakuointiin se aika ei riitä. (2, s. 15)

Myös alueelle tyypillisten pienten järitysten loppuminen saattaa olla merkki uhkaavasta voimakkaasta järityksestä. Viimeiset varoitukset tulevat joskus pieninä esijärityksinä. Yleensä merkittävää maanjäritystä seuraa vaihteleva määrä pienempiä jälkijärityksiä. Voimakkaimpiin järityksiin niitä liittyy tuhansia usean vuoden aikana. Jälkijäritykset ovat siten odotettavissa olevia tapauksia, ja niiden esiintyminen noudattaa usein jotain säännönmukaisuutta. Järitysalueella niistä saatetaan joskus tiedottaa ja joka tapauksessa niihin on syytä varautua. (28)

Maanjärityssarjassa samalla tapahtumapaikalla sattuu monia saman suuruusluokan tapauksia. Järityssarjan kestoa on vaikea tietää etukäteen, ja ne voivat kestää jopa kuukausia. Maanjäritys voi olla periaatteessa voimakkaampaa tapausta edeltävä esijäritys, maanjärityssarjan alku tai pääjäritys, jota seuraa joukko jälkijärityksiä. Käytännössä on vaikea etukäteen ennustaa, onko järitys osa maanjärityssarjaa vai vain yksittäinen järitys. (28)

Vaikka maanjäritysten ennusteiden tarkkuus on yleensä huono, ennusteilla on kuitenkin tärkeä merkitys siellä missä maa vahahtelee usein. Ihmiset ovat myös valmiimpia maksamaan paremmin järityksiä kestävästä rakennuksista ja muista riskien pienentämistä aiheuttavista kustannuksista, jos tiedetään, että maanjäritys tapahtuu todennäköisesti lähivuosikymmeninä (2, s.15–16). Osuvatpa ennustukset myös joskus oikeaan. Esimerkiksi Pohjois-Kiinassa vuonna 1975 suuresta maanjärityksestä annettiin varoitus viisi tuntia ennen varsinaista järitystä. Miljoonat ihmiset siirtyivät ulos rakennuksista. Vaikka järitys aiheuttikin suuria rakennustuhoja, kuolleiden lukumäärä jäi ”vain” satoihin. Oikeaan osunut ennustus pelasti siis ilmeisesti tuhansien ihmisten hengen. (1, s. 109)

Myös Mexicossa syyskuussa vuonna 1995 onnistuttiin varoittamaan ihmisiä etukäteen tulevasta maanjärityksestä, tosin hieman pienemmällä varoitusajalla kuin Pohjois-Kiinassa. Tiedotusvälineet välittivät tiedon tulevasta 7,3 magnitudin järityksestä 72 sekuntia ennen kun järitys ehti iskeä pääkaupunkiin Méxicon. Vaikka aika saattaa kuulostaa vähäiseltä, sen aikana ehditään tehdä paljon, jos tiettyjä toimenpiteitä on harjoitettu etukäteen. Kyseisessä ajassa ehditään esimerkiksi keskeyttämään sähkönjakelu, sulkemaan voimalaitokset sekä pysäyttämään junat ja linjat-autot. Siinä ajassa ehditään myös usein tyhjentämään useimmat rakennukset – kuten koulut ja ostoskeskukset – ihmisistä. Esimerkiksi Méxicon tapauksessa moni ehti poistumaan vaarallisista rakennuksista ja näin pelastui varmasti useiden ihmisten henki. Maanjäritysvaroitus voitiin antaa Méxicossa, koska järityskeskus oli melko kaukana kaupungista ja järitysaalloilta kesti yli minuutin saapua kaupunkiin. (10, s. 51)

2.5.2 Maanjäristyksiin varautuminen

Maanjäristyksiä kuten ei myös muitakaan endogeenisia hasardeja pystytä estämään. On esitetty, että maanjäristyksiä voitaisiin laukaista hallitusti maanalaisilla ydinräjäytyksillä, mutta menetelmän turvallisuudesta ja ympäristövaikutuksista ei kuitenkaan olla varmoja (2, s. 15). Siksi maanjäristysten kanssa on vain osattava elää. Tuhoja voidaan kuitenkin ehkäistä oikeanlaisella rakentamisella, suunnittelulla ja ihmisten riittävällä valistuksella.

Maanjäristysten aiheuttamia tuhoja lisää se, että ihmiset eivät usko onnettomuuksien tapahtuvan juuri omalle kohdalleen ja jättävät siksi usein ohjeita ja määräyksiä noudattamatta. Ihmiset eivät halua lähteä asuinalueiltaan, vaikka vaara uhkaisikin, koska monia sitovat työ ja asunto. Esimerkiksi Kaliforniassa, joka on erittäin järistysherkkää aluetta, ei varoituksia oteta täydestä. Vaara-alueelle on rakennettu kymmeniätuhansia asuntoja, teitä, siltoja, tärkeitä sähkölinjoja ja jopa kouluja (2, s. 14). Valistuksen ja tiedotuksen avulla lisätään ihmisten mahdollisuuksia selvittää poikkeustilanteista. Tärkeää onkin suunnitella rakennuksiin toimivat hätäpoistumistiet, jotta rakennus saataisiin nopeasti tyhjennettyä ihmisistä, jos maanjäristys saisi sen sortumaan.

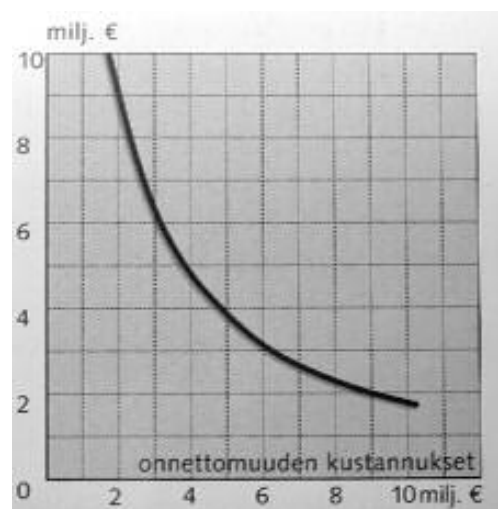
Rakennusten sortuminen aiheuttaa valtaosan ihmishenkien menetyksistä maanjäristyksissä. Siksi turvallisen rakennetun ympäristön suunnittelu ja järistysten kestävien rakennusten rakentaminen ovat maanjäristykseen varautumisessa keskeisiä asioita. Maanjäristysten tuhoja voidaan lieventää esimerkiksi sijoittamalla rakennukset paikkoihin, joissa järistysten esiintyminen ei ole todennäköistä. Jos rakentaminen maanjäristysalueelle on välttämätöntä, pitäisi rakennuksista tehdä järistyksenkestäviä. Maanjäristyksissä rakennuksiin syntyy usein halkeamia, jotka voivat laajetessaan sorruttaa koko rakennuksen.

Erityisesti tiilitalot ovat heikosti järistyksiä kestäviä, koska tiilien välinen laasti murenee tärinässä helposti. Sen sijaan tukevat puusta rakennetut talot ovat kestävämpiä, koska puurakenne antaa hieman periksi. Puurakennusten ohella parhaiten järistyksiä kestävät teräsbetonista rakennetut rakennukset. Teräsbetonissa betoni on valettuna teräslankoja sisältävään muottiin, joka antaa rakenteelle joustavuutta. Teräsbetonista rakennetut pilvenpiirtäjät kestävät hyvin maanjäristyksissä, vaikka ne usein huojuvatkin. Myös rakennuksen muodolla on merkitystä sen maanjäristyskestävyyteen. Matalat rakennukset ovat usein turvallisempia kuin samalla tavalla rakennutut korkeat rakennukset. Rakennusten sortumista voidaan ehkäistä myös estämällä maankamaran värähtelyjen siirtyminen itse rakennukseen esimerkiksi sijoittamalla joustavia kumivaimentimia perustuksiin. Tällaisten rakennusten rakentaminen on kuitenkin niin kallista, että niihin on varaa vain vaurilla teollisuusmailla, kuten Japanilla. (2, s. 12)

Vaikka rakennus olisi ulkoisesti kestävä, täytyy sen sisä rakenteidenkin olla erityisen vahvoja. Esimerkiksi lattioiden putoaminen alempien kerrosten päälle ja raskaan irtaimiston iskeytyminen ihmisiin aiheuttavat paljon ihmisuhreja. Siksi järistysalueilla rakennusten seinien ja lattioiden liitokset pyritäänkin tekemään poikkeuksellisen lujia, koska nämä liitoksen ovat usein rakennusten heikoimpia kohtia. Raskaat irtaimistot kiinnitetään usein tiukasti kiinni lattiaan tai seiniin,

jotteivät ne pääsisi liikkumaan järistyksessä (2, s.13). Myös kaasuputkien eristämällä voidaan ehkäistä tuhoja. Jos kaasuputki katkeaa maanjäristyksessä, kaasu syttyy herkästi esimerkiksi katkenneesta sähköjohdosta tulleesta kipinästä, jolloin syntyy vakavia tulipaloja. Näin kävi esimerkiksi Japanissa Koben kaupungissa vuonna 1995, kun maanjäristys katkoi kaasuputkia, jolloin syntyi vakavia tulipaloja, kun kaasu syttyi palamaan.

Nykyään rakennukset voidaankin rakentaa sellaisiksi, että ne kestävät järistykset aivan suurimpia lukuun ottamatta. Eniten tuhoja maanjäristykset aiheuttavat kehitysmaissa, joilla ei ole varaa kalliisiin rakenneratkaisuihin ja varoitusjärjestelmiin (2, s.13–14). Sen sijaan teollisuusmaissa lyhytkin varoitusaika voidaan nykyteknologian avulla hyödyntää. Esimerkiksi Japanissa on rakennettu järjestelmiä, jotka katkaisevat kaasun syötön kaasuputkista automaattisesti, kun järitys on havaittu. Tällöin vältytään rajuilta tulipaloilta, jotka syntyvät kaasuputken katketessa ja kun herkästi syttyvä kaasu saa jostain kipinän. Japanilaisiin pilvenpiirtäjiin on myös asennettu vaimentimia, jotka tietokoneiden avulla reagoivat järistysiin. (2, s. 16)



Kuva 12. Onnettomuuden ja sen ehkäisyn kustannusten välinen riippuvuus

Japanissa tieto järistyksestä välittyy myös sairaaloihin ja ydinvoimaloihin, jolloin riskialttiit voimalat voidaan tarvittaessa nopeasti sulkea ja sairaalat siirtyvät käyttämään omia generaattoreita. Japanilaiset ovat kehittäneet myös järjestelmän, jolla useita satoja kilometrejä tunnissa kiihtävät luotijunat saadaan turvallisesti pysäytettyä katkaisemalla sähkö kiskoilta ennen järistysiskemistä junaan. Junien radoille on sijoitettu seismografeja kahdenkymmenen kilometrin välein, jolloin saadaan heti tieto ensimmäisestä järistysaallosta. Koska tieto radan sähkövirran katkaisimiin kulkeutuu radioaalloilla, jotka etenevät järistysaaltoja nopeammin, saadaan tieto järistyksestä välitettyä kymmeniä sekunteja ennen kun järitys iskee junaan. Maanjäristykseen varautuminen ei kuitenkaan ole mitään halpaa puuhaa, sillä jo varoitusjärjestelmän ylläpito voi maksaa maltaita, joihin ei kehitysmailla ole yksinkertaisesti varaa. (2, s. 16)

Hyvä esimerkki osaavasta rakentamisesta maanjäristysalueelle on Taiwanin pääkaupunkiin Taipeihin rakenteilla oleva yli 500 metriä korkea Taipei 101-pilvenpiirtäjä, josta tulee sen valmistuttua syksyllä 2004 maailman korkein rakennus. Pilvenpiirtäjän

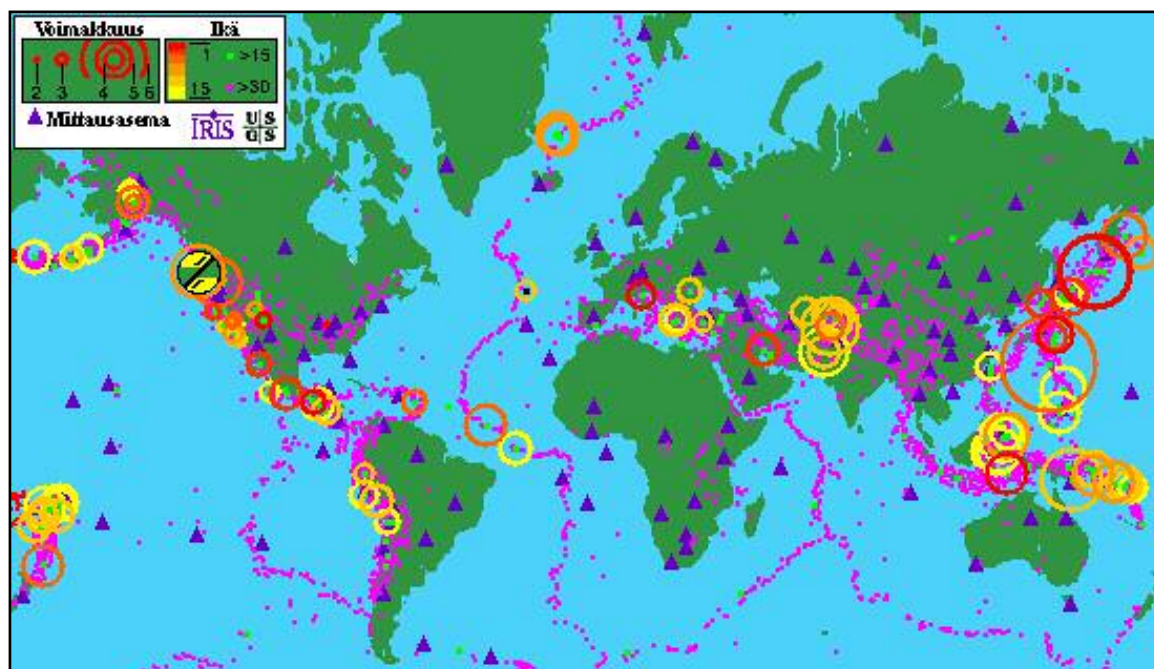


Kuva 13. Järitys Taiwanissa 21.9.1999 kaatoi osan rakennuksista kyljelleen mutta Taipei 101 säilyi ehjänä.

rakentaminen Taiwaniin on melko riskialtista, koska Taiwan on järistysherkkää rakennusalueutta. Taiwan on nimittäin osa Tyynenmeren rannikoita kiertävää ns. tulirengasta, jonka alueilla maa vavahtelee usein tuhoisasti. Taipei 101 on rakennettu lisäksi soistuneeseen maaperään, joka ei ole kovinkaan vakaa. Hyvällä rakennussuunnittelulla pilvenpiirtäjä on saatu kuitenkin tehtyä turvalliseksi. Sen perustuksista huolehtivat 550 paalua ulottuvat 60–80 metrin syvyyteen kallioperään asti ja varmistavat, ettei rakennus ala vajota ajan mittaan. Taipei 101 on suunniteltu myös siten, että sen pitäisi kestää maanjäristys, jonka voimakkuus on 7 Richterin asteikolla. Pilvenpiirtäjä kesti hyvin sitä rakennusvaiheessa ravistelleen 6,8 Richterin järistyksen, kun taas useat Taipeiin muut rakennukset vaurioituivat pahoin. Sanotaankin, että kyseinen pilvenpiirtäjä on viimeinen rakennus, joka sortuu Taipeiissa luonnonmullistuksessa. Oikealla rakennussuunnittelulla saadaan siis aikaan turvallisia rakennuksia myös järistysherkillä alueilla. Kyse onkin yleensä siitä, kuinka paljon rahaa halutaan laittaa turvallisuuteen. (4, s. 46–49)

Tärkeää on myös suunnitella etukäteen, miten toimitaan sen jälkeen, kun maanjäristys on iskenyt. Mitä paremmat valmiudet maalla on ryhtyä pelastustoimiin ja jälleenrakennustyöhön, sitä enemmän ihmisiä saadaan pelastettua raunioista ja sitä nopeammin saadaan kodittomille asukkailla uusia rakennuksia. Katastrofin jälkihoito onkin erittäin tärkeää, jotta asukkaat kärsisivät mahdollisimman vähän niin aineellisesti kuin henkisesti.

2.6 Tuhoisimmat maanjäristykset



Kuva 14. Viimeaikaiset maanjäristykset maailmalla (järistyksen ikä päivissä)

2.6.1 Tangshan, Kiina, 1976

1900-luvun tuhoisin maanjäristys sattui Tangshanissa Kiinassa 28. kesäkuuta vuonna 1976. Tangshan on tiheään asuttu teollistunut kaupunki ja sijaitsee 160 km Pekingistä itään (3.g). Siellä asui järistyshetkellä noin hieman yli miljoona asukasta (19) ja nykyään asutusta on noin puolitoinen miljoonaa (3.g).



Kuva 15. Tangshanin sijainti Kiinassa.

Erittäin voimakas maanjäristys iski

Tangshanin kaupunkiin keskellä yötä kello 3:42 paikallista aikaa. Järistys voimakkuudeksi mitattiin noin 8 Richterin asteikolla ja järistys kesti noin 15 sekuntia. Järitys aiheutti massiivisia tuhoja, koska se oli todella voimakas ja lisäksi maanjäristyksen hyposentrumi oli melko lähellä maan pintaa. Maanjäristystä ei osattu ollenkaan odottaa, koska aluetta ei pidetty maanjäristysherkkänä seutuna ja siksi rakennuksia ei ollut rakennettu kestävästi voimakkaita maanjäristyksiä. (18)

Järistys tuhoi lisäksi myös se, että tämä kaikki tapahtui yöllä, kun lähes kaikki olivat kodeissaan nukkumassa. Moni varmasti kuoli talonsa romahdettua ennen kun edes ehti herätä. Järitys oli niin voimakas, että heikkorakenteiset talot eivät kestäneet sitä, jolloin järitys suorastaan pyyhkäisi lähes koko kaupungin maan tasalle. Tässä tuhoisassa luonnonmullistuksessa kuoli virallisesti Kiinan hallituksen mukaan noin 240 000 tai 250 000 ihmistä, tosin vuosikymmenen järistysen jälkeen joidenkin tutkijoiden mielestä noin 655 000 kuollutta on lähempänä totuutta. (19)

Järitys katkaisi kaupungista sähköt ja vedentulon, jolloin pelastustoimet olivat erittäin vaikeita keskellä pimeää yötä. Eikä asiaa yhtään auttanut se, että samana päivänä noin 16 tuntia tuhoisan pääjäristysen jälkeen voimakas jälkijäritys – yli 7 Richterin asteikolla – iski kaupunkiin ja tappoi monet niistä, jotka olivat vielä hengissä rakennusten raunioissa (19). Kaikesta huolimatta Kiina kieltäytyi kuitenkin ulkomaalaisesta avusta ja aloitti hätäavun antamisen sekä uudelleenrakennustyöt omin voimin. (17)



Kuva 16. Järistysen aiheuttamaa tuhoa Tangshanissa

Järistys ravisteli myös Kiinan pääkaupunkia Pekingiä mutta se selvisi onneksi suuremmilta tuhoilta ⁽¹⁷⁾. Tuhot olisivat voineet olla vieläkin suuremmat mitä Tangshanissa oli, jos järistyskeskus olisi ollut hieman yli 100 kilometriä länteen, koska silloin se olisi iskenyt suoraan Pekingiin, jossa asuu nykyään yli 7 miljoonaa ihmistä ja jos esikaupungit luetaan mukaan, asukasluku on noin 12,4 miljoonaa. ^(3.i)

Vaikka järistys yllättikin melkein kaikki Tangshanin asukkaat, oli eräässä Tangshanin ulkopuolissa kylässä aistittavissa ennusmerkkejä tulevasta järistyksestä järistystä edeltävinä päivinä. Esimerkiksi kaivojen vesi nousi ja laski selvästi useita kertoja päivää ennen maanjäristystä. Joistain kaivoista alkoi myös purkautua kaasuja ja jotkut kaivot alkoivat hajota. Nykyään tiedetäänkin, että kaivojen veden sekä pohjaveden korkeuden on todettu usein laskevan ennen kun maa alkaa värähdellä. Tosin vielä ei ole tieteellisesti todistettu, miksi näin tapahtuu. Eläinten käyttäytymisessä Tangshanin lähistöllä oli myös havaittavissa outoa käytöstä. Esimerkiksi hiirten ja lumikkojen oli nähty juoksentelevan ympäriinsä ja etsien paikkaa, johon piiloutua. Myös kotieläimissä oli havaittu outoa levottomuutta. ⁽¹⁸⁾

Tuhojen laajuus oli lopulta valtava. 93 prosenttia asuinrakennuksista tuhoutui täysin. 78 prosenttia teollisuusrakennuksista hajosi maan tasalle. 80 prosenttia vedenjakelujärjestelmästä vaurioitui erittäin vakavasti. Tämänkaltaista järistystä voikin hyvin sanoa täydellisen tuhon aiheuttajaksi. Myös Tangshanin tieverkosto koki pahoja tuhoja. Sillat romahtivat, kun niiden kannattimet eivät kestäneet ja raitiotiet taipuivat niin, ettei niillä pystynyt ajamaan. Tiet olivat myös kaikenlaisen roinan peitossa ja täynnä halkeamia, jolloin pelastustoimet olivat erittäin hankala toteuttaa. Tuhot aiheuttivat lopulta arviolta noin 3 biljoonan paikallisen rahayksikön kustannukset (noin 308 miljardia euroa). ⁽¹⁸⁾

Kuva 17. Koben sijainti Japanissa

2.6.2 Kobe, Japani, 1995

Yksi 1990-luvun tuhoisimpia järistyksiä oli Kobessa Japanissa 17. tammikuuta vuonna 1995 tapahtunut maanjäristys. Kobe on Japanin vilkkain satama ja huomattava teollisuuskeskus, joka sijaitsee Japanissa Honshun etelärannikolla Osakanlahden pohjukassa. Vuonna 1995 kaupungissa asui noin 1,4 miljoonaa asukasta. ^(3.f)



Ankara maanjäristys voimakkuudeltaan 6,9 Richterin asteikolla ⁽¹⁴⁾ iski Kобеen ja sen lähikaupunkeihin aikaisin aamulla tiistaina kello 5:46 paikallista aikaa. Järistyksen hyposentrumi oli 20 kilometrin syvyydessä, mikä teki siitä erittäin tuhoisan. Järistys vaikutti 100 kilometrin säteellä episentrumista ja aiheutti tuhoja Kобеen, Osakan ja Kioton kaupungeissa, mutta Kobe kärsi näistä kaikista eniten tuhoja ja erityisesti Kобеen keskusta. Kобеen ja Osakan seutu on noin 10 miljoonalla asukkaallaan Japanin toiseksi tiheimpään asuttua teollistunutta aluetta Tokion jälkeen. Vuoden 1995 järistys kesti noin 20 sekuntia ja aiheutti vakavaa tuhoa laajalla alueella. ⁽¹⁶⁾

Vaikka Japanissa onkin tiukat normit rakennusten maanjäristyskestävyydestä, silti esimerkiksi Koben keskustassa arviolta noin 20 % rakennuksista romahti ja 60 % rakennuksista kärsi vakavia vaurioita ⁽¹³⁾. Yhteensä noin 180 000 rakennusta vaurioitui tai romahti ⁽¹⁶⁾. Muutama tuhat rakennusta tuhoutui tulipaloihin, joita seurasi paljon järistysen jälkeen, kun kaasuputket eivät kestäneet tärinää ja katkesivat, jolloin herkästi syttyvä kaasu leimahti tuleen saatuaan jostain kipinän. Tulipalot olivatkin yksi Koben maanjäristyksen pahimmista tuhon aiheuttajista ⁽¹³⁾. Kaiken kaikkiaan arvioidaan, että noin viidennes Koben rakennuksista tuhoutui tai vahingoittui kyseisessä järistyksessä. (2, s. 14)



Kuva 18. Pylväiden varassa ollutta moottoritietä romahti Koben järistyksessä useita satoja metrejä.

Pahiten vaurioituivat ennen vuotta 1960 rakennetut talot. Uudemmat rakennukset kestivät paremmin, koska ne oli rakennettu tiukempien normien mukaisesti. Pylväiden varaan rakennettua moottoritietä sortui yli 600 metrin matkalta pylväiden vajotessa ja katuessa, kun maaperä alkoi järistyksessä käyttäytyä nesteen tavoin, eikä enää kannattanut pylväiden perustuksia. Tuhon suuruudet aiheutuivat osin myös siitä, että järitys sattui alueella, jossa ei uskottu maanjäristyksiä juurikaan tapahtuvan. (2, s. 14)

Kaiken kaikkiaan noin 5 500 ihmistä sai järistyksessä surmansa ja 35 000 loukkaantui. Noin 300 000 ihmistä jäi kodittomiksi tuhoisan järistysen jäljiltä. Pelastustoimia haistasi se, että kaikki tiet ja rautatiet Kokeen olivat katkenneet järistysen voimasta. Kuolonuhrien määrä kyseisessä maanjäristyksessä oli pahin Japanissa sitten vuoden 1923 Tokion maanjäristysen jälkeen, jolloin noin 150 000 ihmistä menetti henkensä. Vuoden 1995 Koben maanjäristys on arvioitu olevan yksi kaikkein eniten kustannuksia nykyaikana aiheuttanut luonnonkatastrofi. Järistyksestä seuranneet välittömät tuhot aiheuttivat yli 13 biljoonan jenin tappiot (noin 105 miljardia euroa). ⁽¹⁶⁾

Jotkut tutkijat arvioivat, että jos samanlainen järitys iskisi Tokioon, jossa on asukkaita esikaupungit mukaan lukien 33,1 miljoonaa ^(3,h), voisi kuolleita tulla 200 000 tai jopa miljoona.

Aineelliset vahingot nousisivat useisiin satoihin miljardeihin euroihin. Vaikka Tokion keskustan kerrostalot kestävätkin maanjäristyksiä hyvin, on siellä silti vielä vanhoja taloja, jotka eivät kestä voimakkaita järistyksiä. Tokiossa tapahtuva valtava maanjäristys voisikin saada aikaan maail-

Kuva 19. Tämä tie Kobessa oli ennen maanjäristystä tasainen.



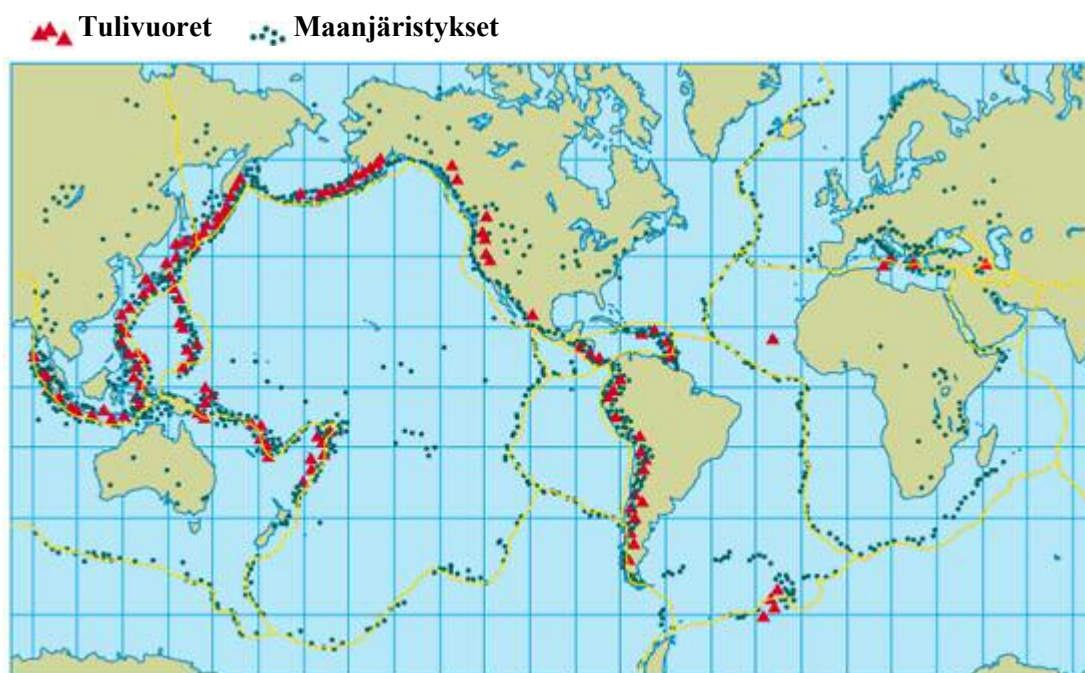
manlaajuisen laman, koska japanilainen pääoma on tärkeää maailman taloudelle ja järjestyksen iskiessä japanilaiset joutuisivat keskittymään vahinkojensa korjaamiseen. Maanjäristysten tuhot eivät siis aina rajoitu vain kyseiselle järjestysalueelle vaan joskus järjestyksellä voi olla myös maailmanlaajuisia vaikutuksia. (2, s. 14)

3 Tulivuorenpurkaukset

3.1 Maailman toimivat tulivuoret

Vulkaanisia alueita ovat erityisesti alueet, jotka sijaitsevat litosfäärilaattojen laidoilla. Toimivia tulivuoria tiedetään olevan ainakin yli 500, joista noin 60 on merenalaisia. Näiden lisäksi tunnetaan useita tuhansia sammuneita tulivuoria (3.b). Tulivuorista suurin osa sijaitsee litosfäärilaattojen siirros- ja murrosvyöhykkeillä Tyynenmeren ympärillä, kuten Amerikan länsirannikolla, Japanissa sekä Filippiineillä. Vilkasta tulivuorten toiminta on myös seuduilla, joissa maankuori edelleen liikkuu, kuten Andeilla, Itä-Aasian saarijonoissa ja Länsi-Intian saaristossa. Tunnetuista tulivuorista noin 80 % sijaitsee litosfäärilaattojen törmäyskohdissa ja vain noin 15 % on laattojen loitonemisaalueilla. (1, s. 99)

Tulivuorenpurkaukset jaetaan syntypaikkansa mukaan yleensä maanpäällisiin ja merenalaisiin. Maanpäälliset tulivuoret sijaitsevat lähes kaikki litosfäärilaattojen alityöntöalueilla ja ovat suuri riski ihmisille. Niiden purkauksella voi olla maailmanlaajuisia vaikutuksia, kuten rajuin tunnettu tulivuorenpurkaus Krakataulla Indonesialla vuonna 1883, jolloin tulivuoresta purkautunut tuhka levisi ympäri maailmaa (3.o). Vedenalaiset tulivuorenpurkaukset taas eivät ole ihmisen kannalta niin vaarallisia kuin maanpäällisten tulivuorten purkaukset. Vedenalaisten purkaukset ovat yleensä rauhallisia eivätkä aiheuta merkittäviä vahinkoja. (1, s. 101)

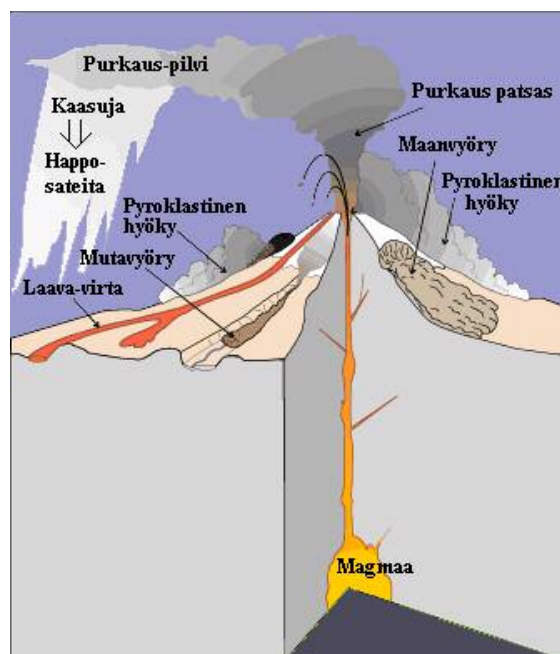


Kuva 20. Maapallon toimivia tulivuoria ja maanjäritysalueita

3.2 Tulivuorenpurkauksen synty

Tulivuorenpurkauksia esiintyy melko säännöllisesti, mutta todella tuhoisia harvoin. Purkauksia on vuosittain noin viitisenkymmentä, joista vain osa aiheuttaa vakavia tuhoja. Maailman 500 aktiivisesta tulivuoresta suurin osa sijaitsee kehitysmaiden tiheään asutuilla seuduilla. Kaikkiaan riskialttiilla tulivuoriseuduilla asuu noin 200 miljoonaa ihmistä. Aukkaiden on usein mahdotonta paeta purkauksen tieltä huonokuntoisten teiden ja olemattomien liikenneyhteyksien vuoksi. Tulivuorenpurkaus alkaa, kun jostain maankuoren kohdasta alkaa purkautua kaasuja, laavaa ja muita kiinteitä purkaustuotteita maan pinnalle. (2, s.21)

Mantereisista tulivuorista lähes kaikki sijaitsevat litosfäärilaattojen alityöntöalueilla. Kun merenpohjalaatan reuna painuu syvälle astenosfääriin mantereisen laatan alle, laatan yläpinta alkaa sulaa. Tästä kivilasta kevyet mineraalit alkavat kohota kohti maanpintaa samalla sulattaen lisää kiveä tieltään. Osasta näistä mineraaleista syntyy maankuoreen sulan magman täyttämiä onkaloita, magmapesäkkeitä. Näissä onkaloissa on myös paljon sulaneesta kivistä peräisin olevia kaasuja. Paine saa magman työntymään mahdollisesti purkauskanavaa pitkin maanpinnalle asti, jolloin magmaa sanotaan laavaksi. Laavan lämpötila on yleensä noin 900 °C – 1300 °C. (1, s. 98–100)



Kuva 21. Tulivuorenpurkauksen synty ja seuraukset

Tulivuoren purkausaukosta eli kraatterista tulee laavan lisäksi myös kaasuja, etenkin hiilidioksidia, vesihöyryä, rikkidioksidia ja rikkivetyä. Räjähdyksmäisissä purkauksissa tulivuoren kaasut saattavat saada laavan räjähtämään pieniksi laavapisaroiksi, jolloin syntyy vulkaanista tuhkaa, kun laavapisarat jähmettyvät ilmassa (1, s.98–99). Osa tuhkasta voi nousta jopa stratosfääriin asti ja kulkeutua tuhansien kilometrien päähän ennen laskeutumista. Tuhka ja purkauksessa vapautuneet kaasut, etenkin rikkidioksidi, voivat säilyä ilmakehässä jopa vuosia ja ne voivat vaikuttaa laajojen alueiden sääoloihin sekä alentaa maapallon keskilämpötilaa. (2, s. 22)

Vulkaanisen tuhkan joukossa lentää usein myös jähmettyneitä laavarakeita, lapilleja, ja joskus suuriakin jähmettyneitä laavakimpaleita, pommeja, sekä purkausaukosta irronneita lohkarkeit, jotka ovat putoillessaan hengenvaarallisia. Räjähdyksmäisessä purkauksessa voi lentää laavaa ja kiveä useita kuutiokilometrejä. Magmapesäkkeen tyhjentymässä sen päällä oleva tulivuoren osa saattaa luhistua syntyneeseen onkaloon, jolloin kraatteri leviää laajaksi ja syntyy kaldera. (2, s.21–22)

Tulivuorenpurkauksia tapahtuu myös merenpohjassa litosfäärilaattojen loitonemisalueilla. Vaikka suurin osa tulivuorista purkautuvasta laavasta purkautuukin valtameren keskiselänteisiin, me-

renalaiset purkaukset ovat kuitenkin usein rauhallisia, eivätkä aiheuta vaaraa ihmisille. Laava yleensä jäähmettyy nopeasti uudeksi merenpohjaksi ja kaasut liukenevat kovassa paineessa heti veteen. Usein vedenalainen purkaus onkin niin rauhallinen, että sitä ei edes huomata. (1, s. 101)

Tulivuoret voivat purkautua usealla eri tavalla. Myös saman purkauksen aikana voi esiintyä erilaisia vaiheita. Tulivuorenpurkaukset jaotellaan yleensä Havaiji-, Stromboli-, Vulcano- ja Plinius-tyyppisiin purkauksiin. Havaiji-tyypin purkaukset ovat melko rauhallisia ja purkauksissa ei tule juuri ollenkaan tuhkaa mutta sitäkin enemmän laavaa, joka voi liikkua jopa 80 kilometrin tuntinopeudella. Strombolisessa purkauksessa keskuskraatterista lentää juoksevaa laavaa kaasupurkausten mukana lyhyin väliajoin. (20)

Rajuimmat purkaustyyppit ovat Vulcano- ja Plinius-tyyppiset purkaukset. Vulcano-purkauksessa ilmaan lentää räjähdysmäisesti juuri purkautunutta laavaa ja lohkareita. Plinius-tyyppinen purkaus on kaikkein voimakkain. Plinius-tyyppiselle tulivuorenpurkaukselle on ominaista äkillisyys ja rajuus. Räjähdys voi olla niin voimakas, että tulivuori tai sen yläosa tuhoutuu kokonaan, jolloin muodostuu kaldera. Rajun purkauksen jälkeen seuraa yleensä pitkä ja rauhallinen kausi. Tunnetuimpia yhä toimivia Plinius-tyyppisiä tulivuoria ovat Italian Vesuvius ja Indonesiassa sijaitseva Krakatau. (20)

3.3 Tulivuorenpurkauksen seuraukset

Äkillisessä tulivuorenpurkauksessa laava, tuhka ja tulikuumat kaasut voivat olla asutukselle monella tapaa vaarallisia. Lisäksi tulivuoresta purkautuvasta vesihöyrystä syntyy rankkoja sateita, jotka saavat aikaan tulvia ja yhdessä vulkaanisen tuhkan kanssa mutavyöryjä. Räjähdysmäiset purkaukset voivat aiheuttaa myös valtavia hyökyaaltoja, eli tsunameja, kuten vuoden 1883 Krakataun purkaus osoittaa. Arvioiden mukaan tulivuorenpurkaukset ovat aiheuttaneet viidensadan viime vuoden aikana noin 200 000 ihmisen kuoleman. (1, s. 102)

Vaikka maanjäristykset vaativatkin yleensä enemmän ihmisuhreja kuin tulivuorenpurkaukset, on tulivuorenpurkauksilla suurempi maailmanlaajuinen vaikutus. Geologit ovat arvioineet, että maapallolla on sen 4,6 miljardia vuotta kestäneen olemassaolon aikana tapahtunut noin tusina laajamittaista eläin- ja kasvilajien joukkotuhoa. Erityisen tuhoisia mullistuksia on ollut viisi. Pahin niistä tapahtui 245 miljoonaa vuotta sitten, kun nykyisen Siperian alueen tulivuorista purkautuneet pölyt ja myrkkyykaasut tuhosivat 90 % merieläimistä ja 75 % maaeläimistä kun taas 65 miljoonaa vuotta sitten meteorin iskeytyminen Jukatanin niemimaalle tappoi ”vain” noin puolet maailman eläimistä ja kasveista.. Tulivuorenpurkaukset voivat olla siis erittäin tuhoisia ja niillä voi olla laajamittainen maailmanlaajuinen vaikutus. (5, s. 25)

Laavavirrat eivät yleensä vaadi ihmisuhreja. Joskus laavavirrat voivat kuitenkin saavuttaa noin 50 kilometrin tuntinopeuden, jolloin ne ovat jo vaaraksi. Laavavirrat saavat sitä vastoin aikaan paljon aineellista vahinkoa polttaessaan kaiken tielleen osuvan maan tasalle. (2, s. 21)

Tulivuoresta purkautuvat kaasut eivät myöskään ole yleensä niin vaarallisia. Yleensä ne ovat vain kiusallisia, koska ne ovat pahan hajuisia ja vaikeuttavat hengittämistä. Joskus kaasut, kuten hiilidioksidi, saattavat aiheuttaa tuhoja, jos purkautuneen kaasun määrä on suuri. Koska hiilidioksidi on ilmaa painavampaa, se saattaa joskus laskeutua etenkin alaviin laaksoihin ja jos ilman hiilidioksidipitoisuus kasvaa 10 %:iin, aiheuttaa se ihmiselle kuoleman noin 10–15 minuutissa. Kuoleminen hiilidioksidiin on kuitenkin äärimmäisen harvinaista. (2, s. 23)

Tulivuorenpurkaus suuntautuu yleensä ylöspäin, mutta joskus purkauksen paine voi suuntautua myös sivulle, jolloin tulisten tulivuorikaasujen ja tuhkan seos lähtee valumaan tulivuoren rinnettä alas lumivyöryn tavoin, mutta lumen sijasta hyöky sisältää polttavan kuumaa tuhkaa ja kaasuja. Tällainen tulinen pilvi eli pyroklastinen hyöky kulkee jopa sadan kilometrin tuntivauhdilla ja saattaa yltää jopa kymmenien kilometrien päähän. Pyroklastiset hyökyt aiheuttavat mutavyöryjen ohella suurimman osan tulivuorenpurkauksen aiheuttamista kuolemista. (2, s. 22)



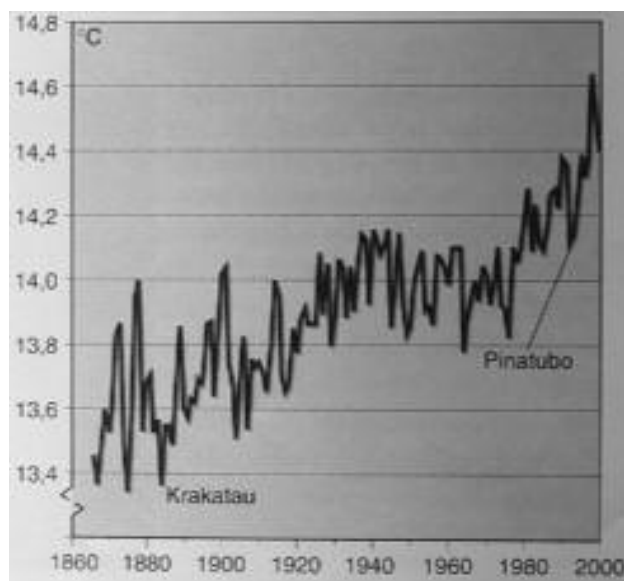
Kuva 22. Purkauksen aiheuttama pyroklastinen hyöky

Maahan satanut vulkaaninen tuhka ei aiheuta yleensä paljoa ihmishenkien menetystä. Sen sijaan siitä aiheutuu suurin osa tulivuorenpurkausten aiheuttamista aineellisista vahingoista. Tuhka peittää alleen viljelyksiä ja rakennuksia, jotka voivat sortua tuhkan painosta. Laitumilla voi ohutkin tukkapeite maanpinnalla olla eläimille vaarallista, etenkin jos tuhka sisältää myrkyllisiä yhdisteitä. Ehkä kuuluisin vulkaanisen tuhkan peittämä kaupunki on Pompeji, joka hautautui tuhkaan Vesuviuksen purkauksessa vuonna 79. (2, s. 22)

Tulivuorenpurkauksen yhteydessä esiintyy myös usein tuhoisia mutavyöryjä eli lahareita. Koska tulivuoresta purkautuu vesihöyryä, ovat rankkasateet yleisiä purkausten yhteydessä, kun jäähtyesään vesihöyry tiivistyy vedeksi ja sataa maahan. Rankkasateet taas tuovat mukanaan vulkaanista tuhkaa vuoren rinteille. Vettynyt maa voi lähteä liikkeelle mutavyörynä ja jos vuoren rinteillä on myös lunta ja jäätä, voi mutavyörystä tulla todella tuhoisa. Nopeasti valuvat mutavyöryt voivat aiheuttaa suuria tuhoja kymmenien kilometrien päässä tulivuoresta. (2, s. 22)

Tulivuortenpurkaukset aiheuttavat myös joskus tsunameja, jotka saavat suurta tuhoa aikaan. Nämä hyökyaallot voivat olla jopa 50 metrin korkuisia ja aiheuttaa valtavaa tuhoa rannikkokaupungeissa. Esimerkiksi Krakataun tulivuoren räjähdysmäinen purkaus Indonesiassa vuonna 1883 aiheutti 35-metrinen hyökyaallon, joka tappoi 36 000 ihmistä. Tulivuortenpurkausten aiheuttamat tsunamit aiheuttavatkin lähes viidenneksen tulivuorenpurkausten aiheuttamista kuolemista. (2, s. 22)

Voimakkailla tulivuorenpurkauksilla voi olla jopa maailmanlaajuisia vaikutuksia, etenkin maapallon ilmastoon. Hyvin voimakkaassa purkauksessa tuhkaa saattaa lentää jopa stratosfääriin saakka ja pysyä siellä kauan. Esimerkiksi Krakataun räjähdysmäisessä purkauksessa vuonna 1883 siitä purkautunut vulkaaninen tuhka kiersi kuukausia ympäri maapalloa. Purkauksesta vapautuneet kaasut aiheuttivat happamia sateita ja maapallon keskilämpötila aleni, koska kaasut heijastivat yläilmakehässä auringon tulosäteilyä takaisin. Yleensäkin rajujen purkausten jälkeen maapallon keskilämpötilat laskevat. Näin kävi myös Pinatubon purkauksessa vuonna 1991. On arvioitu, että Pinatubon purkaus alensi maapallon keskilämpötilaa puolisen astetta muutaman vuoden ajaksi. (2, s. 23)



Kuva 23. Krakataun ja Pinatubon purkausten vaikutus maapallon keskilämpötilaan

Riskeistä huolimatta tuliperäiset alueet ovat usein tiheään asuttuja, koska ne ovat monessa suhteessa ihmisille edullisia. Tulivuorten vulkaanisesta tuhkasta ja laavakivestä syntyy hedelmällistä viljelysmaata. Vulkaanisen alueen kallioperästä voidaan saada geotermistä energiaa lämmitykseen ja lämpövoimaloihin. Tulivuoret ovat myös kiehtovia ja suosittuja matkailukohteita niiden vaaroista huolimatta. (2, s. 26)

Tulivuorenpurkauksista voi olla myös hyötyä arkeologeille. Esimerkiksi, jos Vesuvius ei olisi vuoden 79 purkauksessa haudannut alleen Pompejita ja Herculaneumia, muinaisesta elämästä tiedettäisiin paljon vähemmän. Muinaiset esineet säilyvät tuliperäiseen tuhkaan hautautuneina yleensä hyvin. Kosteassa vulkaanisessa maaperässä myös orgaaniset, mädäntyvät aineet, kuten ihmisten ja eläinten ruumiit ovat joskus olleet hyvin suojassa ilman hapen hajottavalta vaikutukselta ja siten säilyneet näihin päiviin asti. (6, s. 72–73)

3.4 Tulivuorenpurkaukset ennustaminen ja niihin varautuminen

3.4.1 Tulivuorenpurkausten ennustaminen

Tulivuorenpurkauksia ei voida ihmisen toimesta mitenkään estää tai keskeyttää. Tulivuorenpurkausten ennustaminen taas on mahdollista ja se on helpompaa maanjäristyksiin verrattuna. Tulivuorenpurkausten ennustaminen perustuu tiettyjen enteiden ”lukemiseen”.

Purkausta edeltää usein paineen nousu magmapesäkkeessä. Sen aiheuttama maanpinnan kallistuminen voidaan mitata herkillä laitteilla. Pienet maanjäristykset voivat olla myös merkki uhkaa-

vasta purkauksesta. Ennen varsinaista purkausta kraatterista tuleva höyryn määrä kasvaa ja kaasun koostumus muuttuu. Ennustamisessa tutkitaan myös pohjaveden lämpenemistä ja magneettikentän muutoksia, joiden muuttuminen saattaa myös enteillä purkausta. Yleensä tulivuori käyttäytyy peräkkäisissä purkauksissa jokseenkin samalla tavalla, mikä auttaa ennustamista. (1, s.103)

Aktiivisia tulivuoria valvotaan monin paikoin jatkuvasti, jotta purkauksia voitaisiin ennustaa ja vuoren lähellä asuvia ihmisiä varoittaa ajoissa. Parhaiten seurattuja alueita ovat Yhdysvaltain ja Japanin tuliperäiset alueet, koska näillä mailla on hyvät tekniset ja taloudelliset edellytykset seurantaan. Tulivuoria seurataan myös satelliittien avulla, joiden infrapunakamerat paljastavat heti, jos tapahtuu purkausta ennakoivaa lämpötilan nousua. Satelliittien käyttäminen jo yhdenkin tulivuoren seurannassa on kuitenkin todella kallista. (2, s. 24)

Joskus purkauksen ennusmerkit ovat niin selviä, että varoitus voidaan antaa jo hyvissä ajoin ennen purkausta ja väestö voidaan vaaran uhatessa usein evakuoida turvaan. Toisinaan tilanne taas kehittyy niin nopeasti, että purkaus yllättää niin tutkijat kuin vaarallisella alueella asuvat ihmisetkin. Tulivuoret käyttäytyvätkin yleensä arvaamattomasti ja niiden toimintaa on vaikea ennustaa.

3.4.2 Tulivuorenpurkauksiin varautuminen

Tulivuorenpurkauksiin voidaan maanjäristysten tapaan varautua ennalta. Tulivuorenpurkauksissa laavavirrat kulkevat yleensä niin hitaasti, että niiden kulkuun voidaan joskus vaikuttaa. Esimerkiksi Islannissa erästä satamaa uhannut laavavirta saatiin ohjautumaan vaarattomampaan suuntaan, kun laavavirtaan ohjattiin vesisuihku, joka jähmetti laavaa. Joissain paikoissa on myös rakennettu suojamuureja, jotka ohjaavat laavavirran pois päin kaupungista. Muurin on kuitenkin oltava todella massiivinen, kymmeniä metrejä paksu ja korkea, jotta se kestäisi laavan painon ja kaikki laava mahtuisi sen taakse. Maaston muoto asettaa yleensä rajoituksia jolloin laavavirta saadaan harvoin ohjatuksi turvallisille alueille. (2, s. 25)

Rakennusten kattojen romahtamista tuhkan painosta voidaan ehkäistä rakentamalla talojen katot ja seinärakenteet kestävämmiksi. Tämä on tärkeää, koska taivaalta purkauksen aikana satava vulkaaninen tuhka on painavampaa kuin lumi ja heikkorakenteisten talojen katot eivät yleensä kestä tuhkan painoa. Purkaukseen varautuminen edellyttää myös evakuointisuunnitelman laatimista. Purkauksen ennustuksista ei ole juurikaan hyötyä, jos kukaan ei tiedä miten menetellään. (2, s. 24)

Useimpien tulivuorten käyttäytyminen tunnetaan aiempien purkausten perusteella. Kun monet tulivuoret antavat ennen varsinaista purkaustaan jonkinlaisia merkkejä uhkaavasta vaarasta, ihmisten evakuointi on mahdollista. Ongelmana ovat kuitenkin turhat evakuoinnit. Jos ne toistuvat usein, ihmiset eivät välttämättä enää usko varoituksia eivätkä suostu lähtemään vaara-alueelta. Purkauksen ennustaminen on hankalaa. Vaikka tiedettäisiin, että purkaus todella tapahtuu, sen tarkka ajankohta on vaikea määrittää. Purkausta joudutaan ehkä odottamaan viikkoja ja tämän lisäksi itse purkaus voi kestää kuukausia, jolloin väestö joutuu olemaan kauan evakuoituna. (2, s. 24)

3.4.3 Saint Helens, 1980 – onnistunut purkauksenennustus

Mount Saint Helens on tulivuori Kaskadivuorilla Washingtonin osavaltiossa Yhdysvalloissa. Huh-
tikuussa vuonna 1980 uinuva tulivuori heräsi,
jolloin sen huippu kohosi 1,5 metriä vuorokaudes-
sa. Samana vuonna toukokuun 18. päivä kello
8:32 paikallista aikaa tulivuori purkautui rajusti,
kun 5,1 Richterin maanjäristys sysäsi purkauksen
liikkeelle. Maanjäristys laukaisi Saint Helensin
huipun massiivisen sortumisen, joka alas kiitäes-
sään muuttui suureksi pyroklastiseksi hyökyksi. (21)



Kuva 24. Saint Helens ennen purkausta

Polttavan kuuma hyöky tuhosi metsää ja raken-
nuksia noin 20 kilometrin säteellä. Vuorta ympä-
röivät 62 km² hautautuivat mutamassan alle ja
jopa satojen kilometrien päässä kasvaneet puut
kaatuivat räjähdysmäisen purkauksen paineaallon
voimasta (8, s.38). Saint Helensin purkauksessa syn-
tynyt pyroklastinen hyöky oli yksi suurimmista
joita on todistettavasti nähty (21).



Kuva 25. Saint Helens purkauksen jälkeen

Yleensä tulivuoret purkautuvat kraatterin kautta
ylöspäin, jolloin tuhot eivät ole niin suuria. Saint
Helensin huippu kuitenkin lysähti aivan purkauk-
sen alkuvaiheessa kasaan, jolloin vuoren sivuille valuvat massat aiheuttivat tuhoja laajoilla alueil-
la. Saint Helensin purkauksessa syntyi myös valtavia määriä tuhkaa, joka nousi noin 25 kilomet-
rin korkeuteen pimentäen taivaan lähialueilta (8, s.38) ja sitä ”satoi” merkittäviä määriä alas 11 Yh-
dysvaltain osavaltioon kaiken kaikkiaan noin 1 km³ verran (vastaa, jos jalkapallokenttä olisi noin
240 km paksuisen tuhkerakroksen peitossa). (21)

Purkaus kesti lopulta noin 9 tuntia, jonka aikana vuori ehti madaltua noin 400 metriä (22). Purka-
uksen tuhovoima oli 500-kertainen Hiroshimaan pudotetun atomipommiin verrattuna. Ihmisiä
purkauksessa kuoli kuitenkin ”vain” 57 onnistuneen purkauksenennustuksen ansiosta. Luvut oli-
sivat voineet olla paljonkin suuremmat, koska Saint Helens oli suosittu nähtävyys. Saint Helensin
purkaus ei kuitenkaan tullut yllätyksenä, sillä jo muutamaa kuukautta ennen varsinaista purkausta
tulivuoresta oli alkanut nousta purkausta enteilevää savua. Toukokuun 18. päivän purkaus oli
kuitenkin odotettua voimakkaampi. Luonto purkausalueella on massiivisista tuhoista huolimatta
toipunut nopeasti. (8, s. 38–39)

3.5 Voimakkaimmat tulivuorenpurkaukset

3.5.1 Eniten ihmishenkiä vaatineet tulivuorenpurkaukset

Taulukko 5. Eniten ihmishenkiä vaatineet tulivuorenpurkaukset ja niiden kuolinsyyt

Vuosi	Tulivuori, valtio	Kuolleita	Tärkeimmät kuolinsyyt
79	Vesuvius, Italia	3 400	Mutavyöryt
1631	Vesuvius, Italia	3 500	Muta- ja laavavirrat
1772	Papandyan, Indonesia	3 000	Mutavyöryt
1783	Laki, Islanti	9 350	Nälkä
1792	Unzen, Japani	14 000	Vuoren sortuminen, tsunamit
1815	Tambora, Indonesia	92 000	Nälkä
1882	Galunggung, Indonesia	4 000	Mutavyöryt
1883	Krakatau, Indonesia	36 000	Tsunami
1902	Montagne Pélee, Martinique	9 000	Mutavyöryt
1919	Kelut, Indonesia	5 000	Mutavyöryt
1951	Lamington, Papua-Uusi-Guinea	3 000	Mutavyöryt
1982	El Chichon, Meksiko	2 000	Mutavyöryt
1985	Nevado del Ruiz, Kolumbia	25 000	Mutavyöryt

(Lähde: Koulun Maantieto: Lukio 3, s. 25)

3.5.2 Vesuvius, v. 79

Vesuvius on tulivuori Napolinlahden rannalla Etelä-Italiassa 12 km Napolista kaakkoon. Vesuvius on suosittu nähtävyys ja sen alarinteillä on vihanneviljelmiä sekä hedelmä- ja viinitarhoja. Tulivuoren purkausta ei siis pelätä, vaikka se onkin aikaisemmin purkautunut pariin otteeseen tuhoisasti. (3.k)

Antiikin ajan tunnetuin luonnonkatastrofi lienee Vesuviuksen purkaus vuonna 79. Vuonna 62 maanjäristys vahingoitti nykyisen Napolin läheistä aluetta, jolloin monet kaupungit, etenkin Vesuviuksen lähellä sijainneet Pompeji ja Herculaneum kärsivät suuria vahinkoja. Tätä ei kuitenkaan osattu yhdistää Vesuviukseen, vaikka se tiedettiin tulivuoreksi. Vesuvius oli ollut hiljaa noin 1 800 vuotta ja sitä luultiin sammuneeksi, joten Pompeji ja Herculaneum rakennettiin uudelleen. (24)



Kuva 26. Vesuviuksen sijainti Italiassa

Pienet maanjäristykset jatkuivat ajoittaisina aina vuoden 79 elokuun 24. päivään saakka, jolloin vuori heräsi henkiin. Keskipäivällä suuri sienimäinen pilvi ilmaantui Vesuviuksen ylle, kun huomattava osa vuoren huipusta räjähti. Myöhemmin alkoi tuhkaa ja tonneittain erikokoisia kivenmurikoita tippua vuoren lähelle. Purkauksen aktiivisin vaihe kesti seuraavaan päivään asti ja se jatkui jonkin aikaa hiipuvana. Varsinainen purkaus kesti kaksi päivää ja hautasi alleen Pompejin, Herculaneumin ja Stabiaen kaupungit niihin jääneine ihmisineen. (24 & 6, s.72)

Vesuviuksen vuoden 79 purkauksen tapahtumat tiedetään melko hyvin, koska yksi kuolleista oli kuuluisa luonnontieteilijä ja Rooman armeijan amiraali Gaius Plinius, jonka kohtalo kiinnosti roomalaista historioitsijaa Tacitusta. Hän pyysi Pliniuksen sisarenpoikaa, Plinius nuorempaa – joka seurasi purkausta läheiseltä saarelta ja selvisi hengissä – kirjoittamaan purkauksen tapahtumat ylös ja lähettämään ne hänelle. Pliniuksen kirjeet Tacitukselle ovat tärkeimmät dokumentit Vesuviuksen purkauksesta, koska Plinius yritti kuvata asiat mahdollisimman objektiivisesti, satuilematta. Vesuviuksen kaltaisia voimakkaita purkauksia sanotaankin yhä Plinius-tyyppisiksi. (24 & 9, s. 25–26)



Kuva 27. Pompejin ja Herculaneumin kaupunkien sijainti Vesuviukseen nähden

Vesuviuksesta purkautui kaikkiaan noin 4 kuutiokilometriä magmaa vuorokauden sisällä. Taivaalta satoi tuhkaa ja useat kaupungit ja kylät saivat paksun tuhkakerroksen (24). Vulkaaninen tuhka ja muut purkaustuotteet peittivät Pompejin, Stabiaen ja Herculaneumin kaupungit noin 20 metrin paksuisen tuhka-, kivi- ja mutakerroksen alle. Uhrien lukumäärän Pompejissa arvellaan olleen noin 2 000 ihmistä ja Stabiaen sekä Herculaneumin kaupunkien uhrin mukaan luettuna noin 3 400. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan suurimman osan ihmisistä tappoi todennäköisesti kuuma, noin 400-asteinen, tuliperäinen pölypilvi, joka tunkeutui jopa turvallisina pidettyjen rakennusten sisäänkin ja kärvensi kaiken elollisen hengiltä. Se taittoi 5-7 kilometrin matkan alle viidessä minuutissa ja yllätti täysin Herculaneumiin jääneet asukkaat. Useat tuhkasta esiin kaivetut uhrin pitivät käsiä kasvojensa edessä kuollessaan kuumaan kaasuun ja tuhkaan. (9, s. 24–29)

Pompejin kaupunki sijaitsi vuoren lähellä ja tuulen alapuolella, joten tuho oli siellä pahin mahdollinen, koska tuuli kuljetti suurimman osan tuhkasta Pompejin suuntaan (24). Vesuviuksen tuhoisan purkauksen aikana Pompejissa asui noin 20 000 asukasta, joista suurin osa ehti kuitenkin pelastautua. Vanhan Pompejin lähellä sijaitsee nykyinen kaupunki, jossa asuu noin 25 000 asukasta (3.1). Herculaneum taas oli tuulen yläpuolella vuoresta katsoen, joten tuho oli erilainen. Tunti purkauksen alettua kuuma pölypilvi tappoi Herculaneumin asukkaat ja sitä seurannut mutavirta peitti ruumiit. Pompejin asukkaat taas kuolivat noin seitsemän tunnin jälkeen purkauksen alettua. (9, s. 26)

Vuoden 79 purkauksen jälkeen Vesuvius on ollut rauhallisempi, muttei sammunut. Seuraava tuhoa aiheuttanut purkaus oli vuonna 1631, jolloin laavavirrat tuhosivat kuusi kaupunkia ja noin 4 000 ihmistä kuoli (11, s. 40). Viimeksi Vesuvius on purkautunut vuonna 1944, jolloin purkaus vaati 50 ihmisen hengen ja tuhannet ihmiset joutuivat jättämään kotinsa. Nykyisin tulivuoren toimintaa seuraa vuonna 1841 perustettu oma observatorio ja myös satelliittiseurantaa käytetään. (6, s. 75)

Vesuviuksen toimintaa on kuitenkin vaikeaa ennustaa. Se on purkautunut historiansa aikana monella eri tavalla. Se luokitellaan Plinius-tyyppiseksi tulivuoreksi, jolle on ominaista rajut purkaukset. Vesuviuksen lähiympäristössä seitsemän kilometrin säteellä asuu noin 700 000 ihmistä (11, s. 41) ja hieman kauempana Napolissa, joka sekin on purkauksen sattuessa vaaravyöhykkeessä, asuu noin 3 miljoonaa asukasta (3.m). Jos Vesuvius purkautuu, Vesuviuksen lähiympäristössä asuvien henkeä uhkaavat paitsi laavavirrat, myös kuuma tuhka, joka sekoittuessaan vesihöyryyn aiheuttaa mutavyöryjä. Lisäksi kauas sinkoutuvat vulkaaniset pommit ja muut isot kiinteät purkaustuotteet aiheuttavat hengenvaaran myös Napolissa asti (11, s. 41). Vesuviuksen purkaus voi hyvinkin yltyä erittäin tuhoisana Napoliin asti. Esimerkiksi pronssikautinen kaupunki Nola, joka sijaitsee Napolin tapaan 12 kilometrin päässä Vesuviuksesta, hautautui Vesuviuksen purkauksesta seuranneeseen mutavyöryyn noin 1700 eaa. (6, s. 72–73)



Kuva 28. Vesuviuksen purkaus vuonna 1944

3.5.3 Pinatubo, 1991

Pinatubo on tulivuori Filippiineillä noin 90 kilometriä pääkaupunki Manilan pohjoispuolella (33). Pinatubo oli ollut rauhallinen noin 600 vuotta. Sen ei odotettu purkautuvan, joten vuoren rinteillä oli viljelystä ja vuoren lähellä asui noin 300 000 ihmistä. Viidentoista kilometrin päässä Pinatubosta oli Yhdysvaltojen suurin sotilastukikohta Filippiineillä, joka käsitti Clarkin lentotukikohdan ja läheisen lahden laivastotukikohdan, jossa oli siviilejä ja sotilaita yhteensä noin 15 000. (23 & 2, s. 24)

Kauan hiljaa ollut Pinatubo antoi kuitenkin merkkejä enteilevästä purkauksesta. Toukokuussa 1991 tulivuoresta kohosi suuria keltaisia rikkipilviä, jolloin oltiin varmoja Pinatubon aikeista. Myöhemmin noin 12 000 asukasta määrättiin evakuoitavaksi. Neljänä päivänä kesäkuuta samana vuonna Pinatubon toiminta hii-



Kuva 29. Pinatubon sijainti Filippiinien saariryhmässä

pui. Äkillinen rauhallisuus oli kuitenkin tyyntä myrskyn edellä. Tulivuori oli saanut ”tulpan”, jolloin paine vuoren sisällä kasvoi kasvamistaan. Kesäkuun 7. päivänä tutkijat antoivat varoituk-
sen, että Pinatubo saattaa purkautua vuorokauden kuluessa. (12, s. 69–70)

Varsinainen purkaus alkoi kuitenkin 10. kesäkuuta. Suurin osa Yhdysvaltain sotilastukikohdan väestä siirtyi kymmenien kilometrien päähän turvaan. Kaksi päivää tämän jälkeen purkaus voimistui ja tuhkaa lensi sienimäisenä pilvenä 25 kilometrin korkeuteen. Noin 100 kilometrin päässä Pinatubosta pohjoiseen sijainnut Manilan kaupungin taivas pimeni ja Pinatubosta purkautunutta tuhkaa satoi vielä 1 500 kilometrin päässä Singaporessakin (2, s. 24). Sitten kesäkuun 15. päivänä tulivuori purkautui erittäin voimakkaasti. Purkauksen voima oli suunnaton ja sen arvellaan olleen yksi viime vuosisadan voimakkaimmista tulivuorenpurkauksista (23). Purkaus kesti kaiken kaikkiaan viikon. (2, s. 24)



Kuva 30. Pinatubon purkaus 12. kesäkuuta 1991

Kuuma vulkaaninen tuhka poltti viljelykset ja peitti kaiken tulivuoren lähistöltä kymmenien senttien paksuisen tuhakerroksen alle (2, s. 24). Monet ihmiset kuolivat, koska heidän talonsa romahtivat tuhkan painosta. Suuret tulikuuma tuhkaa ja kaasuja sisältävät pyroklastiset hyöyt vyöryivät alas Pinatubon rinteitä tuhoten tieltään kaiken. Purkauksesta aiheutuneet nopeasti liikkuvat mutavyöryt olivat suureksi vaaraksi kuten myös tuhkasateen mukana taivaalta sataneet useiden senttimetrien suuruiset laavasta jähmettyneet pommit. (23)



Kuva 31. Pinatubon purkaus sai aikaan nopeasti liikkuvia, tuhoisia, tulikuumia pyroklastisia hyökyjä

Kaiken kaikkiaan purkauksessa sai surmansa 550 ihmistä ja 300 000 menetti kotinsa (3,n). Noin miljoona ihmistä joutui pakenemaan alueelta purkauksen ajaksi. Myös Yhdysvaltain Clarkin lentotukikohta tuhoutui purkauksessa. Todellisen suuren vaaratilanteen aiheutti se, kun tukikohdan varastojen risteilyohjusten ydinkärjet olivat vaarassa räjähtää, koska tuhkasateet tukkivat sotilastukikohdan bunkkereiden tuuletuskuilut. Teknikot saivat kuitenkin vaarallisissa oloissa poistettua ydinkärjet ja ne siirrettiin turvaan laivoilla. Varastoihin jäi kuitenkin vielä paljon muuta kalustoa ja ampumatarvikkeita, joita räjähteli myöhemmin. (2, s.24)

Pinatubon purkaus kuuluu historian eniten saastuttaneisiin purkauksiin. Pinatubon purkauksessa vapautui noin 20 miljoonaa tonnia rikkiyhdisteitä stratosfääriin, joka myöhemmin laskeutui alas ja lisäsi happaman laskeuman määrää. Purkauksella oli maailmanlaajuisia vaikutuksia. Se vaikutti mm. Maan keskilämpötiloihin laskevasti (kuva 23) ja ilmaan vapautunut suunnaton määrä rikkiyhdisteitä lisäsi suojaavan otsonikerroksen tuhoutumista. Kolmessa viikossa tulivuoresta purkautunut tuhkapilvi kattoi noin 40 prosenttia maapallosta. (12, s. 70–71)

Pinatubon purkaus ei kuitenkaan ollut mitenkään poikkeuksellisen raju, mutta tuhoja syntyi siksi paljon, että Pinatuboa pidettiin täysin turvallisena. Se ei ollut purkautunut pitkään aikaan (2, s. 24). Onneksi filippiiniläiset ja amerikkalaiset tutkijat osasivat ennustaa Pinatubon purkauksen, jolloin arviolta 5 000 ihmisen henki saatiin pelastettua ja omaisuuttakin noin 250 miljoonan euron edestä. Matkustajalentokoneita varoitettiin Pinatubosta purkautuneesta massiivisesta tuhkapilvestä ja useimmat koneet välttivätkin sen. Tosin muutama lentokone joutui kohtaamaan suuren tuhkapilven ja kärsi miljoonien eurojen vahingot. (23)

4 Tsunamit

4.1 Tsunamin synty

Tsunamit eli hyökyaallot saavat alkunsa useimmiten merenalaisista maanjäristyksistä, voimakkaista tulivuorenpurkauksista, maanvyörymistä tai mereen iskeytyvistä meteoriiteista.

Useimmat tsunamit ovat kuitenkin merenalaisen maanjäristyksen seurausta. Kun merenpohjassa tapahtuu maanjäristys, merenpohja saattaa liikahda satojen



Kuva 32. Tsunamiaallon synty merenalaisessa maanjäristyksessä

neliökilometrien alueella ja samalla se saa järistyspaikan yläpuolella olevan vesimassan hypähtämään kuhmuksi. Tällöin järistyksen energiaa siirtyy järistyspisteen yläpuolella olevan vesimassan aaltoiluun ja tämä suuri vesimassa lähtee liikkeelle joka suuntaan. Valtameren vesi ei tsunamissa kulje eteenpäin vaan aaltoilee paikallaan pohjia myöten. Merenalaisen maanjäristyksen voimakkuus täytyy yleensä olla yli 6,5 Richterin asteikolla ja sen keskuksen on oltava melko matalalla, jotta se aiheuttaisi tuhoisan tsunamin. (2, s. 17–19 & 7, s. 8)

Tsunamia on vaikea havaita ulapalla, koska sen aallon korkeus on pieni – kymmenestä senteistä muutamaan metriin. Meren ulapalla tsunamista ei olekaan yleensä mitään vaaraa. Aallonharja nousee harvoin edes puolta metriä merenpinnan tasosta. Aallon pituus ulapalla taasen on erittäin suuri – usein noin 150 kilometriä, joskus jopa 700 kilometriä. Tsunamiaallon nopeus merellä on

jopa yli 700 kilometriä tunnissa, joka vastaa matkustajalentokoneen nopeutta. Tsunamin vauhti ei yleensä laannu merkittävästi matkalla. Siksi se sisältääkin valtavan määrän liike-energiaa, joka aiheuttaa massiivisia tuhoja rannikoilla. (2, s. 17 & 7, s. 8)

Tsunamiaallon luonne muuttuu olennaisesti, kun se saapuu rannikon matalikolle tai ahtautuu kaapean salmeen. Tällöin aallot kohoavat korkeiksi hyökyaalloiksi, jotka voivat olla jopa kymmeniä metrejä korkeita, joskus jopa yli sata metriä. Nämä suunnattomat vesipatsaat saavat aikaan pahaa jälkeä iskeytyessään rannikkokaupunkeihin. Tsunamin nimi juontuu japaninkielisistä sanoista tsu (=satama) ja nami (=aalto). Rannikolle tullessaan tsunamiaallon etureunan vauhti alkaa veden madaltuessa hidastua, jolloin aalto tulee lyhemmäksi ja samalla takaa tuleva vesimassa kasvattaa aallon korkeutta. Tsunami tunkeutuu tuhoisalla voimalla myös kilometrejä sisämaahan päin eikä vain aiheuta tuhoja pelkästään rannalla. Tavalliset myrskyn aikaansaamat aallot murtuvat heti rannassa, koska niiden aallonpituus on niin pieni. Tsunamiaallon aallonpituus taas on useita kilometrejä, jolloin se pystyy tunkeutumaan pitkälle sisämaahan. Tsunamiaaltoja tulee yleensä peräkkäin useita, johtuen aallon pituudesta. Hyökyaaltojen väli on noin 15 minuutista puoleen tuntiin ja siksi tsunamin vaikutus voikin kestää useita tunteja. (2, s. 17–18)

Tsunameja esiintyy eniten Tyynellämerellä, jonka alueella maanjäristykset ovat yleisiä. Yli neljäsosa tsunamista syntyy Japanin lähistöllä, jossa on neljän litosfäärilaatan saumakohdat. Yleensä tsunamit jaotellaan paikallisiin ja maailmanlaajuisiin. Paikalliset tsunamit – joita suurin osa tsunamista ovat – aiheuttavat tuhoja yleensä vain lähialueilla, noin 200 kilometrin päästä järistyskeskuksesta. Paikallisen tsunamin korkeus voi myös olla suuri, mutta sen vesimassan liike-energia on pieni joten sen vaikutus heikkenee aallon edetessä. Maailmanlaajuiset tsunamit taas voivat saada aikaan tuhoja jopa toisella puolella valtamerta kuin missä järistyskeskus oli. Tällöin maanjäristyksessä liikkuneen merenpohjan ala on ollut suuri toisin kuin paikallisen tsunamin aiheuttaneessa maanjäristyksessä. (2, s. 17–19)

4.1.1 Mega-tsunamit

Mega-tsunameiksi sanotaan aaltoja, joiden korkeus on yli 100 metriä merenpinnasta. Näitä aaltoja syntyy yleensä meteorien iskeytyessä mereen tai suurissa maanvyörymissä. Suurin koskaan havaittu mega-tsunami syntyi Lituya Bayssa (= Lituyan lahti) Alaskassa 9. heinäkuuta vuonna 1958. Silloin erittäin voimakas maanjäristys – voimakkuudeltaan noin 8 Richterin asteikolla – aiheutti lahden kallionrinteessä kivivyöryn. Maanjäristyksen irrottama massiivisen vyöry iskeytyi voimalla veteen ja nostatti valtavan tsunamin. Tämä korkeimmillaan noin 515 metrinen tsunami kiisi lentokoneen vauhtia



Kuva 33. Lituya Bayn sijainti Alaskassa

vastakkaista rantaa kohti ja samalla repi miljoonia puita läheisestä vuorenrinteestä jopa viidensadan metrin korkeuteen asti. Koska tsunami syntyi melko syrjäisessä paikassa ja kaikki tämä tapahtui vielä yöllä, ”vain” kaksi veneilijää kuoli. Jos Lituyan lahti olisi ollut tiheään asuttua aluetta, voi vain arvailla minkälaista tuhoa tällainen mega-tsunami olisi saanut aikaan. Lituya Bayn tsunami oli suurin koskaan todistettavasti syntynyt tsunami. (26 & 7, s. 8)

Lituya Bayn tsunami antaa hyvän kuvan myös siitä, kuinka suuria mega-tsunameja meteorin syöksy mereen saattaa aiheuttaa, jos meteori osuu tsunamille suotuisaan paikkaan. Lituya Bayn maanjäristyksessä kalliosta irronnutta suunnatonta kivivyöryä voi hyvin verrata pienen meteoriin. Yleensä maanvyöry ei kuitenkaan aiheuta niin suuria tsunameja kuin Lituya Bayssa mutta, jos kivivyöry sattuu tapahtumaan tsunamille otollisessa paikassa, saattaa siitä muodostua Lituya Bayn kaltainen useita satoja metrejä korkea tuhoisa mega-tsunami.



Kuva 34. Lituyan lahti. Punaisella merkityllä alueella tapahtui maanjäristyksen aiheuttama kivivyöry, joka sysäsi mega-tsunamin liikkeelle.



Kuva 35. Tsunamin jälkiä Lituyan lahdella

noin 650 metrisen mega-tsunamin, joka matkaisi valtameren poikki toiselle puolelle Atlanttia. Tämä mega-tsunami tuhoaisi Pohjois-Amerikan itärannikon kokonaan ja ulottuisi tuhoisana aallona vielä kilometrejä sisämaahan. (34)

Tutkijat eivät kuitenkaan ole varmoja siitä milloin osa La Palman saarta romahtaa mereen ja sysää mega-tsunamin liikkeelle. Saari voi hajota jo seuraavassa purkauksessa tai sitten romahtaminen voi tapahtua vasta kymmenien purkausten jälkeen. Varmaa on kuitenkin se, että osa La Palman tulivuorisaaressa romahtaa tulevaisuudessa ja silloin iso osa Yhdysvaltojen itärannikon miljoonakaupungeista on vaarassa tuhoutua kokonaan. (34)

Maanvyörymien aiheuttamat mega-tsunamit voivat olla kuitenkin myös vakava maailmanlaajuinen uhka, vaikka maanvyörymät harvoin saavat aikaan tuhoisia tsunameja. Esimerkiksi koko Yhdysvaltojen itärannikko on vaarassa hautautua suunnattoman tsunamin alle, jos toisella puolella Atlanttia olevalla Kanariansaarilla tapahtuisi suuri maanvyöry. Uhka maanvyöryyn Kanariansaarilla onkin suuri. Kanariansaarilla sijaitsevan La Palman tulivuorisaaressa iso osa on nimittäin vaarassa romahtaa mereen, jolloin se aiheuttaisi

4.2 Tsunamien aiheuttamat tuhot

4.2.1 Tuhoisimmat tsunamit 1800-luvun lopulta 1900-luvun loppuun

Taulukko 6. Tuhoisimmat tsunamit 1800-luvun lopulta 1900-luvun loppuun

Vuosi	Paikka	Tsunamin korkeus	Kuolleita
1883	Indonesia (Krakatau)	35,0 m	36 000
1906	Kolumbia	5,0 m	yli 500
1922	Chile	7,0 m	100
1923	Kamtšatka	20,0 m	18
1931	Salomosaaret	7,5 m	957
1933	Japani	7,0 m	1678
1960	Chile	10,1 m	61
1976	Filippiinit	4,5 m	6500
1992	Nicaragua	10,0 m	60
1992	Indonesia	7,1 m	263
1992	Indonesia	26,2 m	137
1993	Japani	3,2 m	100
1994	Filippiinit	30,0 m	330
1998	Uusi-Guinea	10,0 m	2200

(Lähde: CD-Facta 2002 [Krakatau] & Koulun Maantieto: Lukio 3, s. 18)

4.2.2 Tsunamien aiheuttamat tuhot

Tsunamit eivät yleensä aiheuta tuhoa pienillä valtamerten saarilla, koska pienten saarien rannat eivät pysty kasvattamaan korkeita tsunamiaaltoja. Jyrkkärinteiset saaret ja -rannikot säästyvät niin ikään yleensä tsunamien tuhoilta. Sen sijaan matalat rannikot ja kapeat lahdet ovat riskialttiita tsunamien tuhojen kannalta. Jo neljämetrinen tsunamiaalto vaurioittaa kevytrakenteisia taloja ja heittää pieniä laivoja sisemmäs maalle. Neljän metrin korkuisia tsunameja esiintyy yleensä noin kerran vuodessa. (2, s. 18–19)



Kuva 36. Vuonna 1992 3–4 metriä korkea tsunami aiheutti tuhoa Floresin niemimaalla, Indonesiassa 35 kilometriä tsunamin aiheuttaneen maanjäristyksen keskuksesta

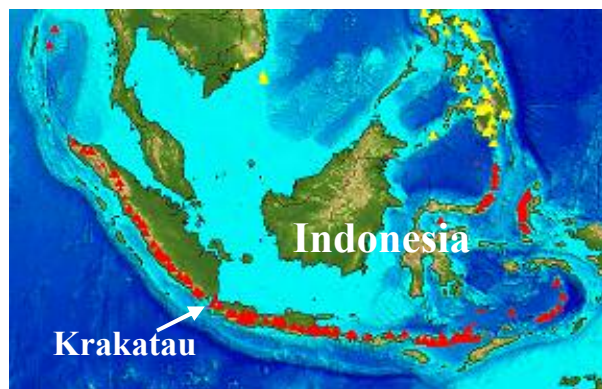
Suuret tsunamit, joita ovat yli 8 metriä korkeat hyökyaallot, tuhoavat kevyet rakennukset, ja laivat, suurimpia valtamerilaivoja lukuun ottamatta, kulkeutuvat pitkälle maihin. Tuhoisimpia yli 16 metriä korkeita tsunameja esiintyy noin kerran vuosikymmenessä, jolloin ne vaurioittavat jo kaukana rannasta olevia rakennuksiakin sekä suuria valtamerialuksia. (2, s. 19)

Tsunamien aiheuttamat tuhot riippuvat paljon siitä, mihin hyökyaalto iskee. Vaikka tsunami olisi useita kymmeniä metrejä korkea, ei siitä välttämättä ole juurikaan vaaraa, jos se iskeytyy syrjäisiin alueisiin. Sitä vastoin pienikin tsunami voi saada suuria tuhoja aikaan, jos se vyöryy tiheään asutun rannikkokaupungin yli ja vielä pahempaa on odotettavissa, jos rannikkokaupunki on köyhässä kehitysmaassa, jossa ei ole varaa rakentaa kestäviä rakennuksia eikä ylläpitää tsunameista varoittavia järjestelmiä.

Viime vuosisadalla tuhoja aiheuttaneita tsunameja oli noin neljäsataa, joista noin 70 vaati ihmishenkiä. Yhteensä tsunamit tappoivat yli 10 000 ihmistä. Ihmishenkien menetysten lisäksi tsunamit aiheuttivat valtavasti aineellista vahinkoa. Nykyään tsunamit vaativat yhä enemmän ihmishenkien menetyksiä mutta se ei tarkoita sitä, että tsunamit olisivat välttämättä lisääntyneet. Todennäköisesti kasvaneet ihmisuhrien määrät johtuvat siitä, että rannikkoseuduilla asuvien ihmisten määrä on kasvanut ja tsunamien tuhoista raportoidaan paremmin kuin ennen. (2, s. 19)

4.2.3 Tuhoisin tsunami Krakatau purkauksessa 1883

Vaikka tulivuorenpurkausten aiheuttamat tsunamit ovatkin yleensä maanjäristysten aiheuttamia pienempiä, tiettävästi tuhoisin tsunami on syntynyt yhdessä maailmanhistorian rajuimmasa tulivuorenpurkauksessa Indonesiassa. Vuonna 1883 Krakatau räjähdysmäisessä purkauksessa syntyi tuhoisin tunnettu tsunami. Krakatau sijaitsee Indonesiassa Sundasalmessa pienellä saarella Jaavan ja Sumatran saarien välissä (3.0).



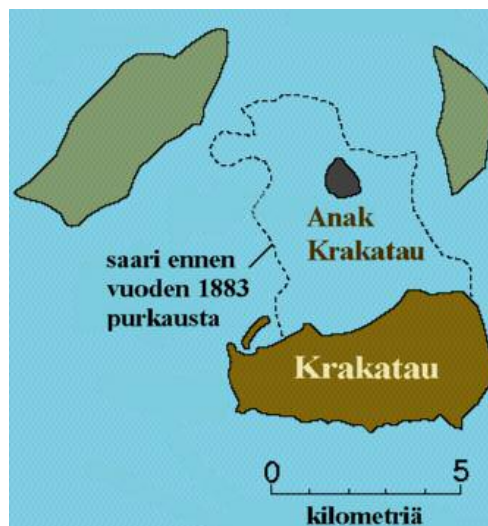
Kuva 37. Krakatau sijainti Indonesian saaristossa

Voimakkaassa purkauksessa 27. elokuuta 1883

Krakatau saaren koko pohjoisosa räjähti. On arvioitu, että purkauksessa noin $\frac{2}{3}$ saaren pohjoisosasta lensi ilmaan. Kun vesi täytti nopeasti purkauksessa syntyneen vedenalaisen kalderan, syntyi suunnattomia hyökyaaltoja (25). Purkauksen aiheuttamien tsunamien korkeus on arveltu olleen noin 35 metriä korkeat (3.0) ja ne aiheuttivat tuhoa 120 kilometrin säteellä (2, s. 19). Nämä aallot tuhosivat noin 300 kylää ja kaupunkia Sundasalmella (25), ja noin 36 000 ihmistä kuoli (3.0). Jotain kuvaa tsunamin voimakkuudesta antaa se, että lähistöllä ollut sotalaiva ajautui tsunamin voimasta kolme kilometriä sisämaahan. (25)

Vaikka Krakataun purkaus aiheuttikin vakavia tuhoja vain paikallisesti Indonesiassa, havaittiin se kuitenkin myös muualla Tyynellämerellä. Krakataun purkauksesta syntyneen tsunamin aiheuttamaa merenpinnannousua rekisteröitiin, jopa Amerikan länsirannikolla Kaliforniassa 20 tuntia purkauksen jälkeen. Nousu oli tosin vain noin kymmenisen senttiä. (25)

Purkauksen jyrinä kuului Australiassa ja Intiassa saakka (3.0). Lisäksi Krakatau vapautti purkauksessaan ilmakehään noin 18 km^3 tuhkaa ja muuta ainesta. Vuoren huippu lensi 1 300 kilometrin päähän Intian valtameren ja ilmakehään kulkeutunut ympäri maapalloa levittäytynyt tuhka pimensi taivaan vielä sadan kilometrin päässä kahdeksi vuorokaudeksi (1, s. 100). Ilmakehään levinneet tuhkapilvet vaikuttivat ilmastoon kuukausien ajan eri puolilla maailmaa. Esimerkiksi Suomessa purkaus havaittiin paljain silmin värikkäinä auringonlaskuina. (3.0)



Kuva 38. Krakataun saari ennen ja jälkeä voimakkaan purkauksen.

Jälkeenpäin Krakataun räjähdysmäisen purkauksen jälkeen Krakataun kalderan sisälle syntyi tulivuori, joka sai nimekseen Anak Krakatau (tarkoittaa ”Krakataun lapsi”). Anak Krakatau on ollut aktiivinen vuodesta 1927 lähtien. Se ei ole ainakaan vielä aiheuttanut vakavaa tuhoa, mutta ainakin sen aiheuttama kuusi metriä korkea hyökyaalto (kuva 4) antaa hyvän kuvan siitä, mihin Anak Krakatau pystyy, jos se purkautuu voimalla. (35)

4.3 Tsunamien ennustaminen ja tuhojen ehkäisy

Jotta tsunamien tuhoja voitaisiin ehkäistä, on tärkeää, että hyökyaaltojen tulo pystytään ennustamaan. Tyynenmeren alueen 26 valtiolla on yhteinen tsunamien varoitusjärjestö, joka myös tutkii tsunamien syntyä ja kehittää niiden havaitsemista. Lisäksi monilla mailla on vielä omia varoitusjärjestelmiä ja tutkimuslaitoksia. Voimakkaista maanjäristyksistä varoitetaan yleensä aina uhatta olevia asukkaita. Tsunami voidaan havaita muun muassa erilaisten vuoroveden korkeutta ja vedenpaineen muutoksia mittaavien laitteiden avulla, joita on paljon valtamerillä. Jos laitteet havaitsevat poikkeavia lukemia, voidaan tsunamin tulo mahdollisesti ennakoita. (2, s. 19)

Laitteiden toimintavarmuus ei kuitenkaan aivan täydellinen, joten väärä hälytyksiäkin tulee. Tsunamit voivat myös jäädä huomaamatta ulapalla ja iskeytyä rannikoille aivan yllättäen. Väärät hälytykset taas vaikuttavat usein ihmisiin siten, että he eivät enää välitä hälytyksistä, koska ajattelevat, että hälytys on kuitenkin taas turha. Tilastojen mukaan vain joka neljäs hälytys on ollut aiheellinen. Lisäksi turhat hälytykset aiheuttavat usein miljoonien eurojen kustannuksia. Parannettavaa hälytysjärjestelmissä siis on. Varoitusjärjestelmät aiheuttavat kuitenkin monille rannikkovaltioille paljon kustannuksia jolloin köyhillä mailla ei edes ole varaa niihin. (2, s. 19–20)

Tsunamiaaltojen tuhoja pystytään kuitenkin ehkäisemään ja hälytysjärjestelmistä on usein todella hyötyä. Tsunamilta kuluu esimerkiksi Tyynenmeren ylitykseen noin vuorokausi. Jos tsunami siis saa alkunsa toisella puolella Tyyntämerta ja on vaarana aiheuttaa tsunamiaallon toisella puolella merta, ehditään ihmiset usein evakuoimaan vaarallisilta rannikoilta ja siirtämään heidät turvaan sisämaahan. Kuitenkin yleensä suurin osa tuhoisista tsunameista syntyy lähellä onnettomuusrannikoita, jolloin aikaa ihmisten siirtämiseen pois rannikoilta ei ole muutamia minutteja enempää.

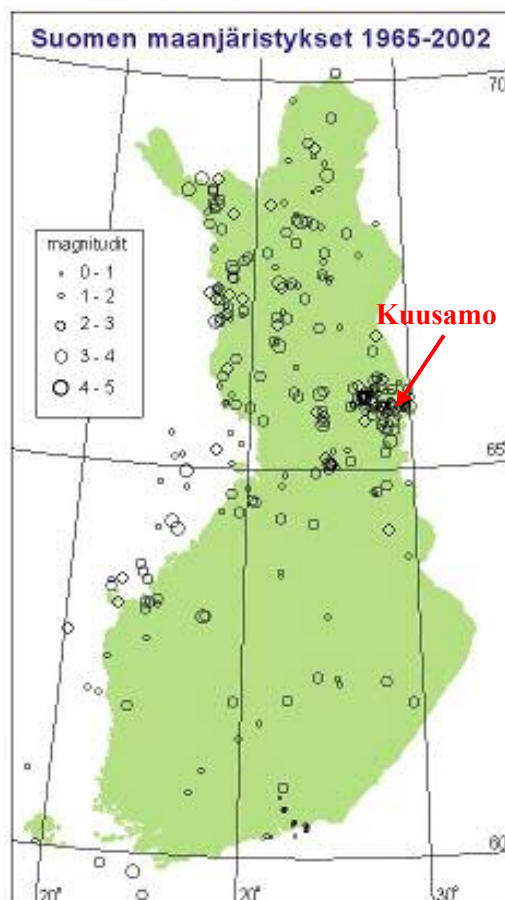
(2, s. 20)

Tsunamien kannalta vaarallisilla rannikoilla asuvia ihmisiä tiedotetaan, miten tulee käyttäytyä tsunamin uhatessa. Tiedotuksella on tärkeä merkitys, koska ei parhaastakaan hälytysjärjestelmästä ole mitään hyötyä, jos kukaan ei tiedä, mihin pitää siirtyä tsunamin uhatessa. Tärkeää on myös suunnitella nopeat pakotiet rannikolta ylemmäksi. Rakennukset pyritään nykyään rakentamaan kauemmaksi ja ylemmäksi rannasta ja jokien suista. Myös rakennusten rakenteiden suunnittelulla saadaan ehkäistyä tsunamien tuhoja mm. jättämällä talon pohjakerros avoimeksi siten, että vesi pääsee virtaamaan vapaasti talon alitse, eivätkä pienet tsunamit näin ollen repäise taloa perustuksiltaan. Tsunamien energiaa voidaan myös hieman vähentää erilaisilla esteillä kuten vahvoilla aallonmurtajilla. Suurimpia tsunameja ei kuitenkaan pystytä mitenkään estämään. (2, s. 20)

5 Endogeeniset hazardit Suomessa

Tsunameja ja tulivuorenpurkauksia ei Suomessa lähihistoriassa ole tapahtunut eikä niiden riskiä käytännössä ole. Sen sijaan maanjäristyksiä tapahtuu edelleen, tosin nekään eivät ole suuruudeltaan sellaisia, jotka aiheuttaisivat sanottavaa tuhoa. Usein Suomessa esiintyvät maanjäristykset ovat niin heikkoja, että ne havaitaan vain seismografeilla.

Suomi sijaitseekin kaukana litosfäärilaattojen saumakohdista, joten tuhoisia järistyksiä meillä ei siksi esiinny. Sen sijaan Suomen kallioperän palautuu hiljalleen jääkauden jälkeisessä maankohoamisessa ja joskus jännitys saattaa purkautua pieninä järistysinä (2, s.16). Suomessa tapahtuukin vuosittain 10–20 magnitudin 1–4 järistystä (27). Useimmiten järistykset ovat alle 2,5 Richterin asteikolla (2, s.16). Järistysten määrä vuosittain voi vaihdella suurestikin. Suomesta on 1600-luvulta lähtien tietoja noin 300 maanjäristyksestä. (3.a)



Kuva 39. Suomessa viime vuosikymmeninä rekisteröidyt maanjäristykset

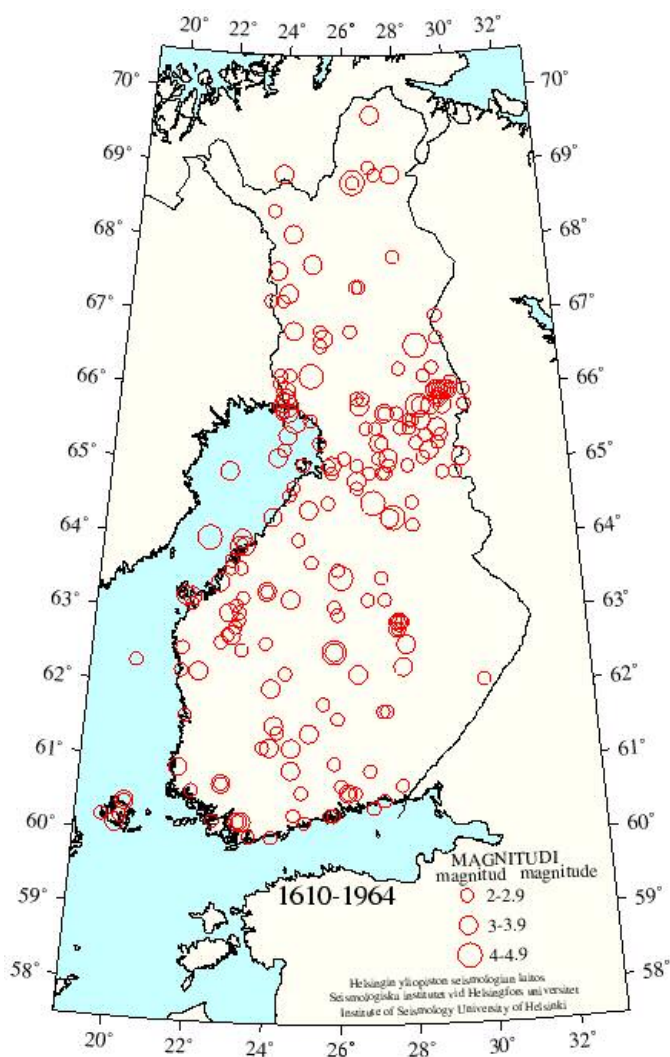
Kaikki Suomessa historiallisena aikana tapahtuneet maanjäristykset ovat olleet alle 5 Richterin asteikolla. Ne eivät yleensä ole saaneet aikaan aineellisia vahinkoja. Suurin Suomessa mitattu maanjäristys tapahtui Perämerellä 23. kesäkuuta vuonna 1882 ja sen voimakkuus oli noin 4,9 Richteriä ⁽³²⁾. Vuoden 1965 jälkeen voimakkain rekisteröity maanjäristys sattui Alajärvellä 17. helmikuuta 1979. Sen magnitudiksi määritettiin noin 3,8. Eniten järistyksiä on sattunut Oulun–Kuusamon alueella (kuvat 39 ja 40). Vuosina 1977–2001 lähes puolet kaikista Suomessa havaituista maanjäristyksistä sattui Kuusamon alueella ⁽²⁷⁾. Merkittävä syyllinen maanjäristykseen Suomessa ja varsinkin Perämeren alueella on maankohoaminen, joka jatkuu edelleen. ^(3.a)

Suomessa laitehavainnointi alkoi 1950-luvun jälkipuolella vaihteittain. Myös jotkin tätä varhaisemmista maanjäristyksistä on havaittu joillakin instrumenteilla, mutta laiteaikaa edeltävistä maanjäristyksistä on saatavilla pääosin ns. makroseismistä tietoa. Sitä ovat Suomen oloissa etenkin ihmisten tuntemukset maanjäristyksen aiheuttamasta tärinästä ja äänestä, järistyksen vaikutukset irtaimistoon ja joskus myös lievät rakennusvauriot, kuten särkyneet ikkunat. ⁽²⁷⁾

Tietoja varhaisista maanjäristyksistä on saatu esimerkiksi paikallishistorioista, kirkonkirjoista ja sanomalehdistä. Kiinnostus Suomen maanjäristykseen kasvoi 1800-luvun aikana. Systemaattisia maanjäristyshavaintoja alettiin kerätä 1800-luvun lopulla lähettämällä erityisiä kyselylomakkeita järistyksen tuntuusalueen asukkaille. Myös nykyään kiinnostavien maanjäristysten yhteydessä tehdään makroseisminen tutkimus. ⁽²⁷⁾

Suuren maanjäristyksen todennäköisyys Suomessa on silti olemassa, tosin se on vähäinen. Tämä riski perustuu siihen, että Suomen kalliooperästä on löydetty merkkejä jääkauden jälkeisistä kalliooperän siirroksista. Esimerkiksi Suomen rajan ja Äänisjärven välillä on parinkymmenen metrin korkuinen jääkauden jälkeinen kalliooperän siirros. Jos siirros on tapahtunut nopeasti, kuten oletetaan, on järitys ollut valtava. Järistysriski on siis aina olemassa, vaikka se onkin pieni. ^(2, s. 16)

Kuva 40. Suomessa rekisteröidyt maanjäristykset vuosina 1610–1964. Kartassa magnitudit 2,0–4,9.



Vaikka Suomessa ei nyt olekaan tulivuoritoimintaa, on sitä aikaisemmin ollut. Peruskalliomme pääosan syntyessä, 1 900–1 800 miljoonaa vuotta sitten, Suomen alue sijaitsi Fennoskandian laatan reunalla ja niinpä maanjäristykset ja tulivuorenpurkaukset olivat erittäin yleisiä^(3,p). Tulivuoritoiminnasta on eniten merkkejä Keski-Lapissa. Jähmettyneiden laavavirtojen rakenteesta on päätelty purkausten olleen yleensä rauhallisia ja tapahtuneen enimmäkseen veteen. Toisaalta on myös todisteita rajuista räjähdysmäisistä purkauksista. (1, s. 113)

Suomi on kuitenkin geologisesti maailman rauhallisimpia alueita. Riski menehtyä tsunamissa tai tulivuorenpurkauksessa on käytännöllisesti katsoen nolla. Maanjäristyksetkään eivät ole meillä yleensä vaaraksi.

6 Lähdeluettelo

1. Kakko, Kenno, Tyrväinen: **Koulun Maantieto: Lukio 1**, Otava, Keuruu 2000, s. 98–115
2. Kakko, Kenno, Tyrväinen: **Koulun Maantieto: Lukio 3**, Otava, Keuruu 2001, s. 4–26, 177
3. **CD-Facta 2002**, WSOY, Artikkelit: a) maanjäristys, b) tulivuori, c) Richterin asteikko, d) seismiset aallot, e) seismografi, f) Kobe, g) Tangshan, h) Tokio, i) Peking, j) Saint Helens, k) Vesuvius, l) Pompeji, m) Napoli, n) Pinatubo, o) Krakatau, p) peruskallio
4. **Tieteen Kuvalehti 14/2003**, Bonnier Alandia Ab, s. 46–49
5. **Tieteen Kuvalehti 2/2003**, Bonnier Alandia Ab, s. 24–25
6. **Tieteen Kuvalehti 13/2002**, Bonnier Alandia Ab, s. 7, 72–75
7. **Tieteen Kuvalehti 12/2002**, Bonnier Alandia Ab, s. 8
8. **Tieteen Kuvalehti 14/2000**, Bonnier Alandia Ab, s. 36–41
9. **Tieteen Kuvalehti 12/2000**, Bonnier Alandia Ab, s. 22–29
10. **Tieteen Kuvalehti 2/2000**, Bonnier Alandia Ab, s. 46–57
11. **Tieteen Kuvalehti 7/1998**, Bonnier Alandia Ab, s. 38–41
12. **Tieteen Kuvalehti 12/1992**, Bonnier Alandia Ab, s. 68–71
13. Internet: <http://www.ege.com/publications/kobe/building.htm> (10.10.2003)
14. Internet: <http://www.dis-inc.com/kobe.htm> (10.10.2003)
15. Internet: <http://www.ege.com/publications/kobe/transprt.htm> (10.10.2003)
16. Internet: <http://www.ege.com/publications/kobe/introduc.htm> (10.10.2003)
17. Internet: <http://www2.worldbook.com/features/earthquakes/html/china.htm> (13.10.2003)
18. Internet: <http://history1900s.about.com/library/weekly/aa061500a.htm> (13.10.2003)
19. Internet: <http://www.geo.arizona.edu/K-12/azpepp/education/history/china> (13.10.2003)
20. Internet: <http://cc.oulu.fi/tati/vulk/Vulkanolsanasto/Vulkanolsanasto.html> (2.11.2003)
21. Internet: <http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Mount-Saint-Helens> (15.10.2003)
22. Internet: http://www.inthegorge.com/mt_st_helens.html (15.10.2003)
23. Internet: <http://wrgis.wr.usgs.gov/fact-sheet/fs113-97> (15.10.2003)
24. Internet: http://www.uusikaupunki.fi/~illaivo/luonnonkatastrofien_historiaa.htm (10.10.2003)
25. Internet: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1883Krakatoa.html> (18.10.2003)

26. Internet: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html> (18.10.2003)
27. Internet: <http://www.seismo.helsinki.fi/fi/maanjtieto/onkosuomessa.htm> (15.10.2003)
28. Internet: <http://www.seismo.helsinki.fi/fi/maanjtieto/ennakko.htm> (15.10.2003)
29. Internet: <http://www.seismo.helsinki.fi/fi/maanjtieto/maanjalueet.htm> (15.10.2003)
30. Internet: <http://www.seismo.helsinki.fi/fi/maanjtieto/sanasto.htm> (15.10.2003)
31. Internet: <http://www.seismo.helsinki.fi/fi/maanjtieto/magnitude.html> (15.10.2003)
32. Internet: http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Suomi_n.html (15.10.2003)
33. Internet: <http://www.geokem.com/orogenic-3.html> (10.10.2003)
34. Televisio: Ylen dokumentti tsunamista Lituyan lahdella ja Kanariansaarten uhasta (videolta)
35. **Tieteen Kuvalehti 10/2001**, Bonnier Alandia Ab, s. 10–11

Kuvien lähteet

- Kansikuva: http://atlas.geo.cornell.edu/education/student/volcanoes/st_helens_erup.html
- Kuva 1: **Koulun Maantieto: Lukio 3, kuva 6C** (käytetty pohjana)
- Kuva 2: <http://www.ege.com/publications/kobe/transprt.htm>
- Kuva 3: http://www.inthegorge.com/mt_st_helens.html
- Kuva 4: http://www.csc.noaa.gov/products/tsunamis/htm/cascadia/t_intro.htm
- Kuva 5: **Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 51**
- Kuva 6: **Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 51**
- Kuva 7: **Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 51**
- Kuva 8: <http://earthsci.org/teacher/basicgeol/earthq/earthq.html> (käytetty pohjana)
- Kuva 9: <http://www.okgeosurvey1.gov/level2/ok.grams/T950116.html>
- Kuva 10: <http://earthsci.org/teacher/basicgeol/earthq/earthq.html> (käytetty pohjana)
- Kuva 11: <http://www.ege.com/publications/kobe/building.htm>
- Kuva 12: **Koulun Maantieto: Lukio 3, kuva 7A** (värit harmaasävynä)
- Kuva 13: **Tieteen Kuvalehti 2/2000, s. 49**
- Kuva 14: <http://www.readinessinfo.com/eqmap4.shtml> (käytetty pohjana)
- Kuva 15: <http://history1900s.about.com/library/weekly/aa061500a.htm> (käytetty pohjana)
- Kuva 16: <http://www.earthquake.net.cn/main.html>
- Kuva 17: http://www.dnp.co.jp/millennium/SB/kobe_e.html (käytetty pohjana)
- Kuva 18: <http://www.ege.com/publications/kobe/transprt.htm>
- Kuva 19: <http://www.ege.com/publications/kobe/transprt.htm>
- Kuva 20: http://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/2515_venusius.html
- Kuva 21: <http://www.sciencemaster.com/jump/earth/volcanos.php> (käytetty pohjana)
- Kuva 22: <http://www.educeth.ch/stromboli/perm/montserrat/flows-en.html>
- Kuva 23: **Koulun Maantieto: Lukio 3, kuva 23B** (värit harmaasävynä)
- Kuva 24: http://www.inthegorge.com/mt_st_helens.html
- Kuva 25: **Tieteen Kuvalehti 14/2000, s. 39**
- Kuva 26: **CD-Facta 2002 kartat** (käytetty pohjana)

- Kuva 27: http://volcano.und.nodak.edu/vwdocs/volc_images/img_vesuvius.html (käytetty pohjana)
- Kuva 28: <http://www.educeth.ch/stromboli/perm/vesuv/history-en.html>
- Kuva 29: **CD-Facta 2002 kartat** (käytetty pohjana)
- Kuva 30: <http://pubs.usgs.gov/of/of97-262/of97-262.html>
- Kuva 31: <http://www.geokem.com/orogenic-3.html>
- Kuva 32: **Koulun Maantieto: Lukio 3, kuva 17A**
- Kuva 33: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html> (käytetty pohjana)
- Kuva 34: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html>
- Kuva 35: http://virtual.yosemite.cc.ca.us/ghaves/Lituya_Bay_Exercise.htm
- Kuva 36: <http://www.crowdingtherim.org/docs/ctr/download/images/tsunami.html>
- Kuva 37: <http://www.volcano.si.edu/world/region.cfm?rnum=06> (käytetty pohjana)
- Kuva 38: <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1883Krakatoa.html> (käytetty pohjana)
- Kuva 39: <http://www.seismo.helsinki.fi/localquakes/kartta65.htm>
- Kuva 40: <http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/fhmap.html>