

HIRSIRAKENTEIDEN MAANJÄRISTYSMITOITUS

TkT Jussi Jalkanen

T
A
V
O
I
T
T
E
E
T

Missä ja milloin maanjäristysmitoitusta tarvitaan?

- Missä maanjäristyksiä esiintyy?
- Milloin on kyseessä korkea tai matala seismisyyden taso?
- Voiko jo myyntivaiheessa jotenkin etukäteen arvioida mahdollista maanjäristysmitoituksen tarvetta?

Rakennusten maanjäristyssuunnittelun yleiset periaatteet

- Mitkä asiat vaikuttavat maanjäristyskuormien suuruuteen?
- Millaisia rakenteiden tulisi olla, jotta ne kestävät maanjäristyskuormat?
- Mistä muista asioista pitäisi huolehtia kuin kantava hirsirunko?

Hirsitalojen maanjäristysmitoituksen periaatteet

- Miten hirsitalo pysyy maanjäristyksessä pystyssä?
- Millaisia rakenneratkaisuita tulisi käyttää ja toisaalta välttää?

Kokemuksia hirsirakennusten maanjäristysmitoituksesta.

- Millaiset asiat ovat olleet epäselviä?
- Miten maanjäristysalueen vientiprojektia voisi sujuvoittaa?
- Mitä tietoja loppuasiakkaalta tulisi osata kysyä?

Keskustelua ja vastauksia kuulijoiden kysymyksiin.

Sisällysluettelo

1. Johdanto maanjäristyssuunnitteluun
2. Maanjäristyssuunnittelun tavoitteet
3. Maanjäristyskuormien suuruuteen vaikuttavat asiat
4. Kapasiteettisuunnittelu – kaiken perusta
5. Konseptisuunnittelu, seismiset kuormat ja detaljit
6. Seismiset analyysimenetelmät
7. Puu materiaalina maanjäristyskohteissa
8. Puurakenteiden mitoituskonseptit
9. Hirsisten jäykistysseinien suunnittelu
10. Kokemuksia hirsirakennusten suunnittelusta maanjäristysolosuhteisiin

1. Johdanto maanjäristyssuunnitteluun

- Maanjäristyssuunnittelussa (*earthquake engineering*) on kyse rakenteiden suunnittelemisesta niin, että selviytyvät halutulla tavalla mahdollisesta maanjäristyksestä.
 - Insinööritieteellinen lähestymistapa.
- Seismologiassa (maanjäristystieteessä) on kyse itse maanjäristysten ja niiden aiheuttamien seismisten aaltojen tutkimisesta.
 - Luonnontieteellinen lähestymistapa.
- Seismologia tuottaa maanjäristyssuunnittelun tarvitsemat lähtötiedot.
 - Seisminen aktiivisuus tietyssä paikassa tietyllä todennäköisyydellä.

Miksi tarvitaan maanjäristyssuunnittelua?

- Maanjäristykset aiheuttavat valtavaa inhimillistä kärsimystä ja taloudellisia tappioita.

Maanjäristys	Vuosi	Magnitudi	Kuolleita
Haiti	2010	7,0	~300 000 (?)
Tangshan, Kiina	1976	7,5	~242 000
Intian valtameri	2004	9,1	~225 000
Peru	1970	7,9	~70 000
Sichuan, Kiina	2008	8,0	~90 000
Kasmir, Pakistan	2005	7,6	~79 000

Taulukossa huomioitu vuoden 1950 jälkeiset maanjäristykset.
United States Geological Survey, Encyclopedia Britannica

Maanjäristys	Vuosi	Magnitudi	Miljardia \$
Sendai, Japani	2011	9,0	~235
Kobe, Japani	1995	6,9	~100
Northridge, USA	1994	6,7	~44
Maule, Chile	2010	8,8	~30
Niigata, Japani	1964	6,6	~28
Christchurch, Uusi-Seelanti	2011	6,2	~20

Suomen valtion menoarvio 2020 oli 67 miljardia dollaria.

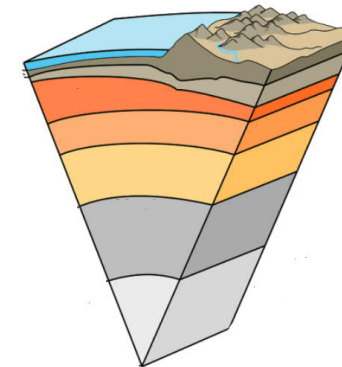
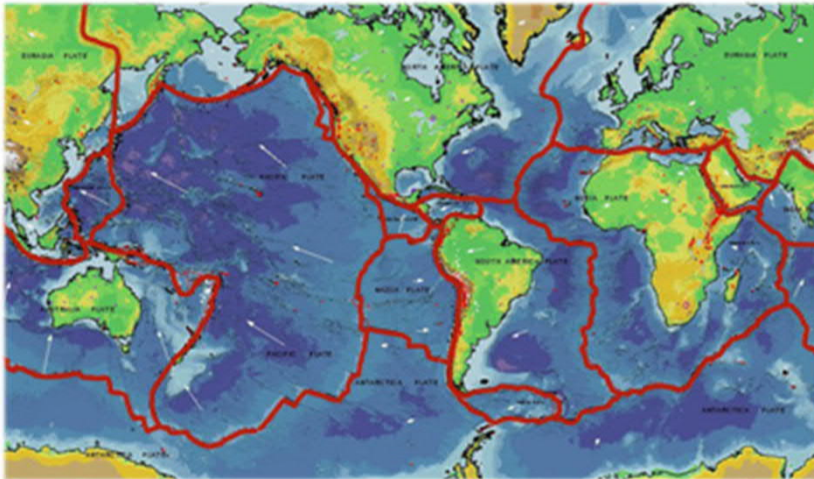
- Ongelmana on, että maanjäristys iskee yllättäen.
 - Liki kaikki henkilövahingot johtuvat rakennusten sortumisesta (pois lukien tsunami).
- ➔ Rakennusten maanjäristyskestävyys avainasemassa.

Miksi Suomessa tarvitaan maanjäristyssuunnittelun osaamista?

- Maanjäristykset eivät ole Suomessa ongelma.
mutta
- Maailma pienenee ja globalisaatio jatkuu kiihtyvällä vauhdilla.
- Suomalaisilla yrityksillä on paljon vientiä maanjäristysalueille.
 - Voimalaitokset ja niihin liittyvät laitteet (siilot, säiliöt, kuljettimet, kanavat, putkistot jne.).
 - Teollisuuslaitokset.
 - Koneet ja laitteet.
 - Rakennesuunnittelu.
- Suurimmaksi osaksi teräsrakenteita, mutta myös merkittävästi puu- ja hirsirakenteita.

Miten maanjäristykset syntyvät?

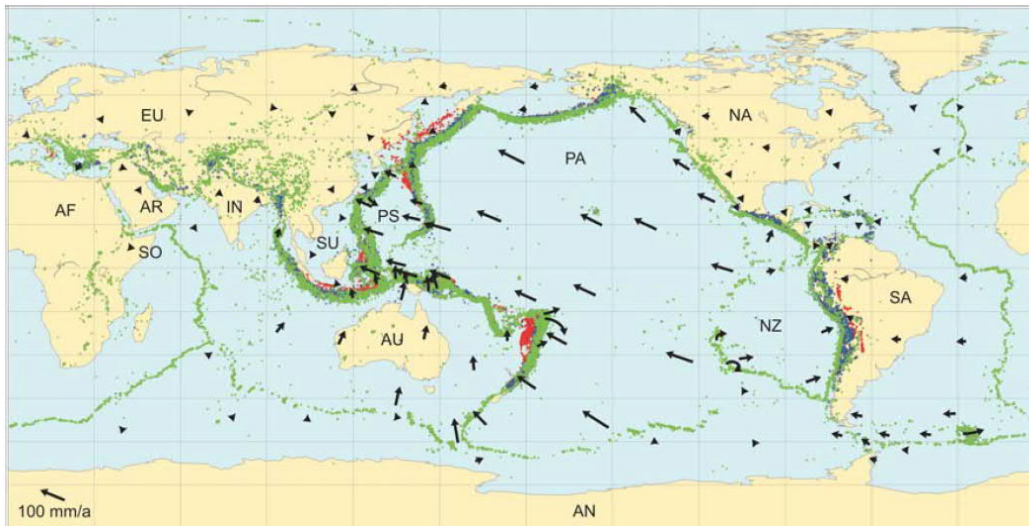
- Ohuet mannerlaatat pyrkivät liikkumaan toisiinsa nähden maan plastisen sisäosan päällä.



- Kitka estää liikkeen, jolloin jännitykset laattojen välillä kasvavat.
- Kun kitka ei pysty enää estämään liikettä syntyy maanjäristys.

Missä maanjärityksiä tapahtuu?

- Valtaosa maanjärityksistä sattuu mannerlaattojen reuna-alueilla.



(Korja, Heikkinen ja Karkkulainen, Miksi maapallolla tärisee?, Dimensio 4/2005)

- Tyynen valtameren reuna-alueilla vapautuu 70 - 90 % maapallon seismisestä energiasta.
- Tuhoisia järityksiä sattuu myös mannerlaattojen sisäosien heikkouskohdissa (esim. Kiina 2008, 1976, 1920 jne.).

Kuinka usein maanjärityksiä tapahtuu?

- Maanjärityksen tapahtumista on mahdotonta ennustaa tarkasti.
- Tilastollisesti voidaan yrittää arvioida maanjärityksen todennäköisyyttä tulevaisuudessa.
- Isoja maanjärityksiä sattuu harvemmin ja pienempiä jatkuvasti.

<u>Magnitudi</u>	<u>Vuotuinen esiintymistiheys</u>
<u>8,0 tai suurempi (erittäin voimakas)</u>	<u>1</u>
<u>7 - 7,9 (hyvin voimakas)</u>	<u>18</u>
<u>6 - 6,9 (voimakas)</u>	<u>120</u>
<u>5 - 5,9 (keskisuuri)</u>	<u>800</u>
<u>4 - 4,9 (lievä)</u>	<u>~ 6 200</u>
<u>3 - 3,9 (pieni)</u>	<u>~ 49 000</u>
<u>2 - 3 (hyvin pieni)</u>	<u>~ 360 000</u>
<u>1 -2 (erittäin pieni)</u>	<u>~ 3 000 000</u>

- Ison maanjärityksen jälkeen esiintyy usein sarja pienempiä jälkijärityksiä.

Miten maanjäristyksen suuruutta mitataan?

- Suuruutta (tai mahdollista voimakkuutta) voidaan kuvata *magnitudilla*, *intensiteetillä* ja kallioperän *maksimi vaakakiiktyvyydellä*.

Magnitudi

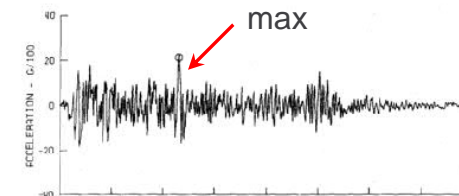
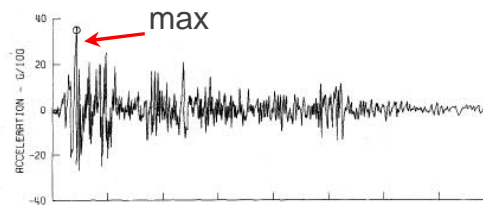
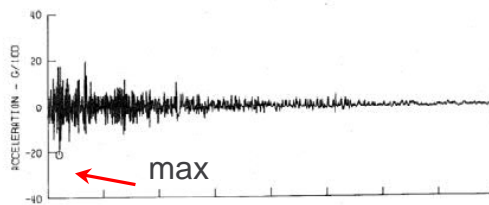
- Magnitudi kuvaa maanjäristyksen voimakkuutta (maan liikkeen suuruutta) järistyslähteessä.
- Magnitudeilla mitattuna järistyksen suuruus on 1 – 10.
- Magnitudiasteikot ovat logaritmisia.
 - ➔ Magnitudin kasvaessa yhdellä on maan liike kymmenkertainen ja vapautuva energiamäärä kasvaa yli 30-kertaiseksi.
- Magnitudiarvo mitataan seismografisilla laitteilla (objektiivinen).

Intensiteetti

- Intensiteetti kuvaa maanjäristyksen vaikutusten (tuhojen) voimakkuutta tietyssä paikassa.
- Perustuu ihmisten tekemiin havaintoihin (subjektiivinen).
- Etäisyys maanjäristyskohdasta tarkkailupisteeseen ja maaperä vaikuttavat vaikuttaa intensiteettiin.
- Asteikoita on käytössä useampia erilaisia.

Kallioperän maksimi vaakakiihtyvyys

- Rakennesuunnittelun kannalta tärkein parametri on kallioperän kiihtyvyys (m/s^2).
- Maanjäristyksessä maaperän kiihtyvyys on erilainen eri suuntiin.



- PGA-arvo liittyy johonkin todennäköisyyteen (keskimääräiseen toistumisaikaan) ja maaperäluokkaan.
 - Usein käytetään (mm. eurokoodissa) 10 % todennäköisyyttä seuraavan 50 vuoden aikana eli keskimääräistä 475 vuoden toistumisväliä ja maaperänä peruskalliota.

- Rakennusten kannalta vaakasuunta on merkittävämpi kuin pystysuunta.
 - Pystysuunnalla on merkitystä pitkillä jänneväleillä, ulokkeilla ja pilarien tukeutuessa palkkeihin.

- Etäisyys maanjäristyskeskuksesta, järistyksen magnitudi, syvyys ja kesto sekä maanperän laatu vaikuttavat maan kiihtyvyyteen.

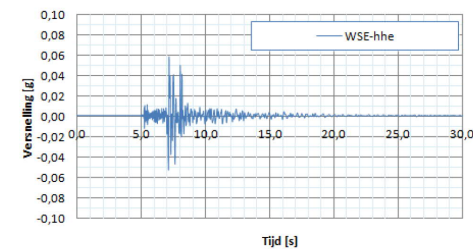
- Maanjäristysmitoituksessa käytetään vaakasuuntaisen kiihtyvyyden maksimiarvoa *peak ground acceleration*, PGA.

Ihmisen aiheuttamat maanjäristykset

- Maanjäristyksiä voi syntyä ihmisen toiminnan seurauksena.
 - Öljyn ja kaasun tuotanto (pumppaus, jäteveden pumppaus takaisin, vesisärötys).
 - Geoterminen energiantuotanto.
 - Hiilidioksidin varastointi.
 - Kaivostoiminta, tekojärvet, ydinkokeet jne.
- Ihmisen aiheuttamat järjestykset ovat suuruudeltaan pieniä, mutta niillä voi olla paikallisia vaikutuksia.
- Jos rakenteita ei ole suunniteltu seismisille kuormille, uudet maanjäristykset ovat ongelma.
- Aina ei ole helppo sanoa, vaikuttiko ihmisen toiminta jonkin maanjäristyksen syntymisen.

Esimerkki. Pohjois-Hollannin maanjäristykset.

- Hollanti ei ole lähtökohtaisesti seismisesti aktiivista aluetta.
- Groningen lähistöllä kaasun tuotanto on aiheuttanut maanjäristyksiä.
 - 1963 aloitettu kaasun pumppaus.
 - 1987 ensimmäiset maanjäristykset.
 - 2013 rahaa budjettiin asian selvittelyyn.
 - Nykyään miljardiluokan poliittinen ongelma.
- Rakennusten suunnittelussa ei ole huomioitu maanjäristyksen mahdollisuutta.
- Hyvin lyhytkestoisia ja tähän mennessä magnitudiltaan enintään 3,6 olleita maanjäristyksiä.

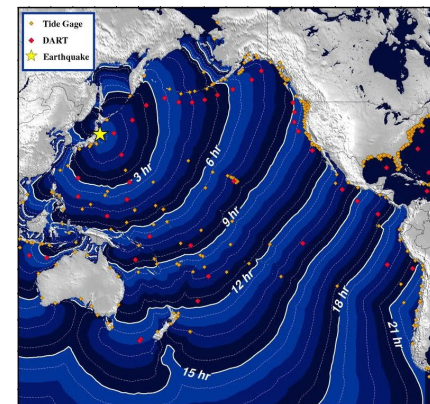


Tsunami

- Tsunami-aalto syntyy, kun maanjäristys nostaa mannerlaatan reunaa ja samalla valtavan määrän vettä nopeasti ylöspäin.



- Tsunamia ei synny läheskään aina merellisessä maanjäristyksessä.
- Tsunami-aalto on varsin hidras.
- Aallon korkeus kasvaa rantaa lähestyessä.
- Maanjäristys voi aiheuttaa tsunamin myös epäsuorasti maanvyöryn kautta.



Sendai Japani 2011

- Historiallisia tsunameita.

Tsunami	Vuosi	Magnitudi	Kuolleita
Sumatra, Indonesia	2004	9,1	228 000
Lissabon, Portugali	1755	8,5	~60 000
Krakatau, Indonesia (tulivuorenpurkaus)	1883	8,8	~40 000
Enshunada, Japani	1498	8,3	31 000
Nankaido, Japani	1707	8,4	30 000



Sumatra Indonesia 2004



Lissabon Portugali 1755

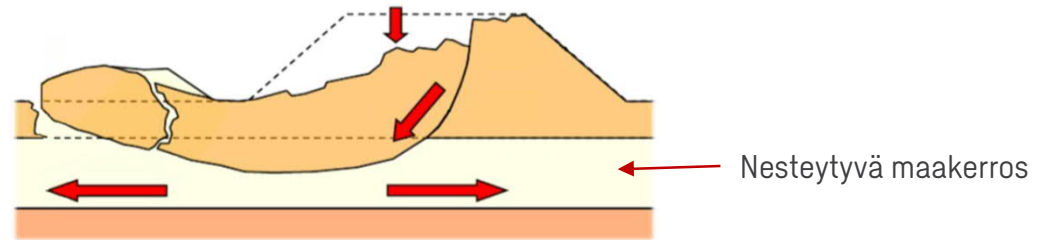
Maan nesteytyminen

- Maan nesteytyminen (*soil liquefaction*) tarkoittaa maan kantokyvyn (leikkauslujuuden) heikkenemistä tai häviämistä maanjäristyksessä.
- Nesteytymisriski riippuu maalajista.
 - Sora- ja savimaalajit eivät ole herkkiä.
 - Tiiviit hiekat vähemmän herkkiä.
 - Löyhät hiekat tai veden tuomat hiekkakerrokset ovat alttiita.
- Nesteytyminen aiheuttaa.
 - Rakennusten painumista ja jopa kaatumisia.



Niigata Japani 1964.

- Luiskien sortumisia.



- Satamarakenteiden vaurioita.



- Nosteen aiheuttamia ongelmia.




Muut maanjärityksen seuraukset

Tulipalot ja maanvyöryt

- Maanjärityksen jälkeen voi kaupungeissa syttyä laajoja tulipaloja.
- Maanjäritys voi laukaista maanvyöryjä.

Hirsikohteet ovat monesti vuoristossa.



Sähkö-, vesi- kaasu- tietoliikenne- ja liikennekatkot

- Välittömät pelastustyöt vaikeutuvat.
- Yhteiskunnan normaali toiminta ei ole mahdollista.

Milloin maanjäristys pitää huomioida suunnittelussa?

- Maanjäristysmitoitusta tarvitaan ainakin, kun suunnittelunormi sitä vaatii.
- Jos (taloudelliset) menetykset uhkaavat kasvaa kohtuuttomaksi.
- Alustavasti maanjäristysmitoituksen tarvetta voidaan arvioida PGA-arvon perusteella.

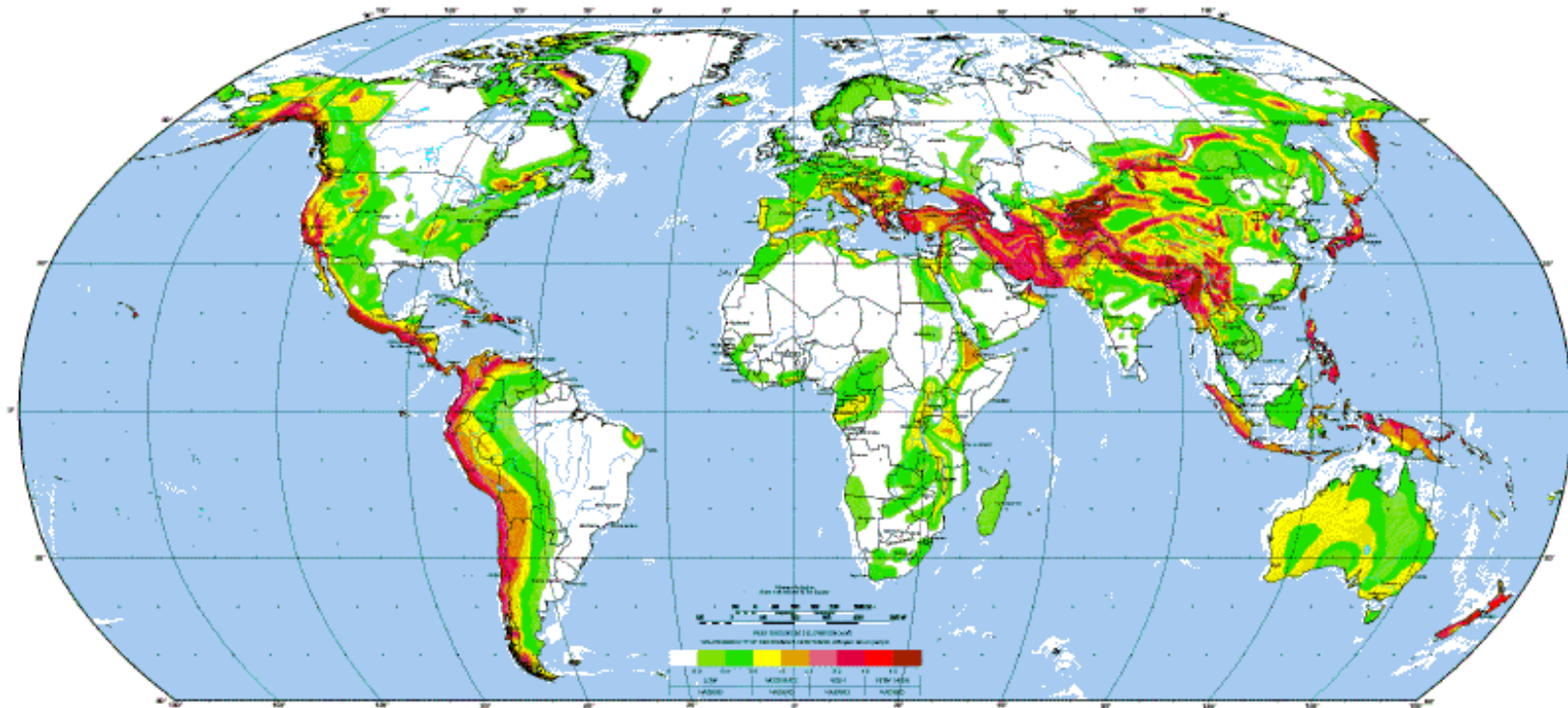
– $a_g \leq 0,08g$	\Leftrightarrow	alhainen seismisyys	}	ei tarvita
– $0,08g < a_g \leq 0,24g$	\Leftrightarrow	kohtuullinen seismisyys	}	tarvitaan
– $a_g > 0,24g$	\Leftrightarrow	korkea seismisyys		
- Maanjäristysmitoituksen tarve riippuu sovelluskohteesta.
 - Inhimillisten ja taloudellisten menetysten suhde riskiin.

Tarvitaanko Suomessa maanjäristysmitoitusta?

- Suomessa tapahtuu jatkuvasti pieniä maanjäristyksiä (magnitudi 0 - 3).
- Voimakkain tiedossa oleva maanjäristys on ollut magnitudiltaan ~5 (Perämeri 1882).
- Maanjäristystä ei tarvitse huomioida tavallisessa suunnittelussa.
- Poikkeukset:
 - 1) STUK:n YVL-ohjeet.
 - 2) Helsingin kaupunki, *Korkean rakentamisen rakentamistapaohje*.
 - Selvitys ennalta määriteltyjen seismisten kuormien ja liikennetärinän vaikutuksista.
 - Mitoitusarvot seismisistä kuormista.

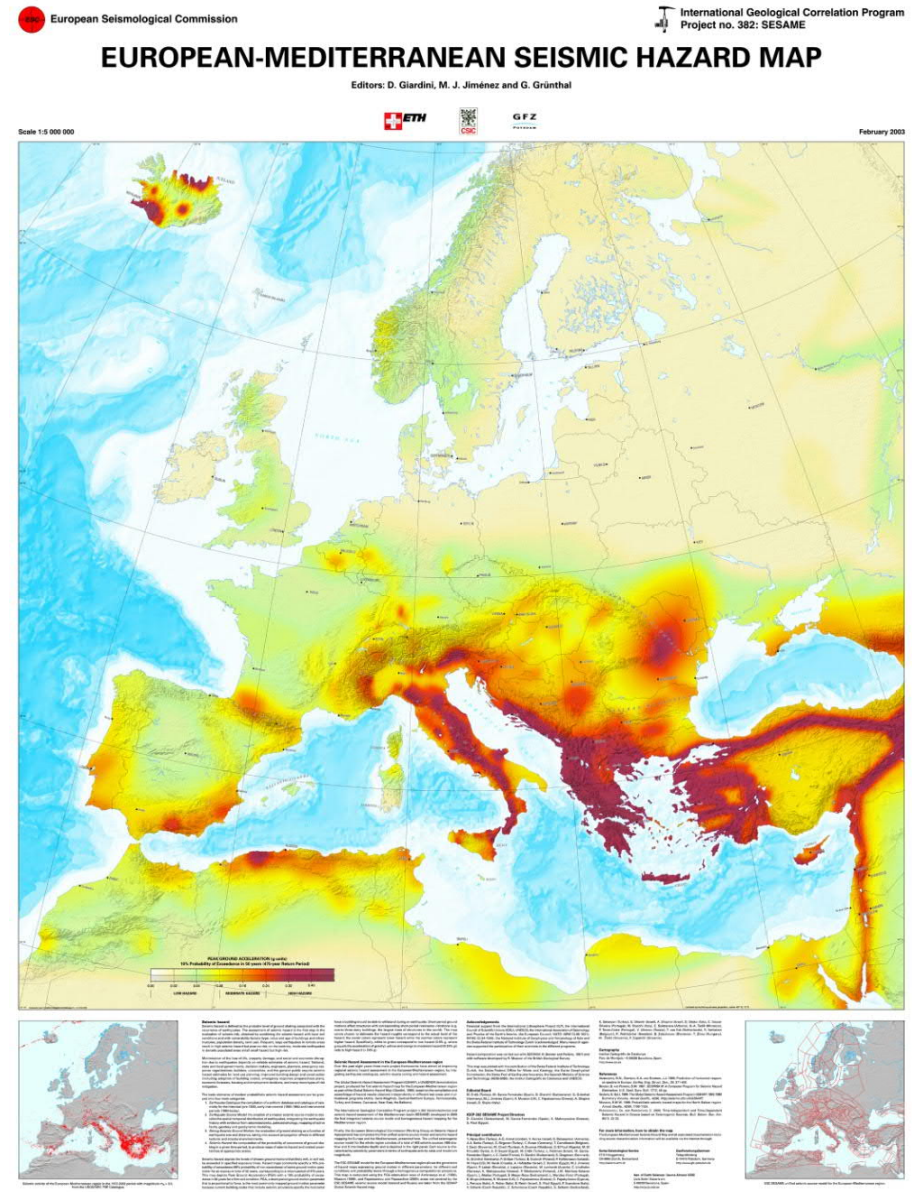
Seisminen aktiivisuus maailmalla

- PGA-arvoja maailmanlaajuisesti <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/>



- Seisminen aktiivisuus vaihtelee voimakkaasti eri puolilla maapalloa.

- PGA-arvoja Euroopassa,
European Seismological
Commission (ESC)



- Rakentamiseen liittyviä maanjäristysnormeja.
 - CENin jäsenmaat¹⁾, EN 1998 eli Eurocode 8 + kansalliset liitteet
 - Venäjä, SP 14.13330 2018 (SNiP II-7-81*) *Construction in Seismic Regions*
 - USA, ASCE/SEI 7-16 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*
 - Kiina, GB 50011-2010 *Code for Seismic Design of Buildings*
 - Intia, IS 1893 (Part 1): 2002 *Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures*
 - Japani, *The Building Standard Law of Japan*
 - Indonesia, SNI 1726:2012 *Earthquake resistance planning procedures for building structures and non-buildings*
 - Turkki, TEC 2007 *Turkish Earthquake Design Code*
 - Chile, NCh433 *Seismic design for buildings*, (NCh2369 Teollisuusrakenteille)

¹⁾ Suomi, Ruotsi, Norja, Saksa jne. eli liki kaikki Euroopan maat pois lukien Venäjä, Ukraina, Valko-Venäjä ja osa Balkanin pienemmistä maista.

Maanjäristysnormien kehitys

- Ensimmäisiä rakennusten normeja lienee *Lontoon* 1666 palon jälkeiset määräykset.
- Tosin aikaisemmin on ollut ohjeistusta.

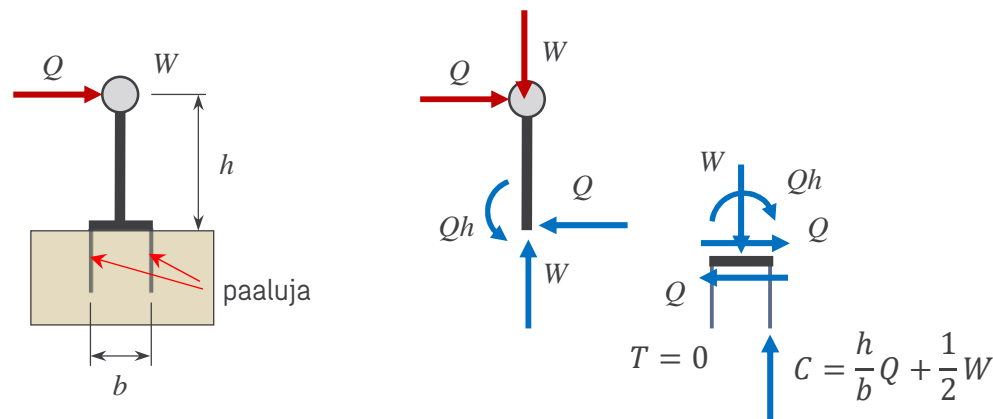
Hammurabin laki

”Jos rakennusmestari rakentaa talon ja talo luhistuu ja surmaa isännän, tapettakoon rakennusmestari. Jos talo luhistuessaan surmaa isännän pojan, tapettakoon siltä rakennusmestarilta poika. Jos talo surmaa isännän orjan, antakoon rakennusmestari hänelle toisen orjan sijaan.”



- Maanjäristysohjeiden sysäyksenä ovat olleet tuhoisat maanjäristykset.
 - 1755 Lissabon → Ohjeistusta alueelle tyypillisille rakennuksille.
 - 1908 Messina → Vaakavoima pystykuormasta 1. kerros 1/12 ja muut 1/8-osaa.
 - 1923 Kanto → Vaakavoima pystykuormasta ~10 %.
 - 1928 UBC:n 1. versio → Vaakavoima pystykuormasta 7,5 % (10 %, jos paalut).

- Alkuvaiheen maanjäristysnormeissa tarkastettiin, että rakenteen kestävyys on enemmän kuin rasitus.



Onko voimassa?

$$Qh < M_{\text{sallittu}}$$

$$Q < V_{\text{sallittu}}$$

$$Q < V_{\text{perustus}}$$

$$C < C_{\text{paalu}}$$

- Kapasiteettisuunnittelu ilmestynyt Uuden-Seelannin normiin 60-luvulla.
 - Nykyisten normien lähtökohta.
- Toiminnallinen maanjäristysmitoitus 90-luvun puoliväli.
 - Vaativat kohteet kuten esim. pilvenpiirtäjät.

2. Maanjäristyssuunnittelun tavoitteet

- Periaatteessa maanjäristyssuunnittelun taso riippuu siitä, että:
 - Millaisia vahinkoja voidaan sallia?
 - Kuinka todennäköiseen maanjäristykseen halutaan varautua?
ja luonnollisesti
 - Millaiset resurssit on käytettävissä?

- Maanjäristyssuunnittelun tavoitteena voidaan pitää:
 - 1) Ihmishenkien suojelemista.
 - 2) Vaurioiden syntymisen rajoittamista.
 - 3) Pelastuspalvelun säilymistä toimintakykyisenä.

} EN 1998:n
tavoitteet

- Ydinvoimalaitokset, suuret padot yms. kriittiset kohteet käsitellään erikseen.

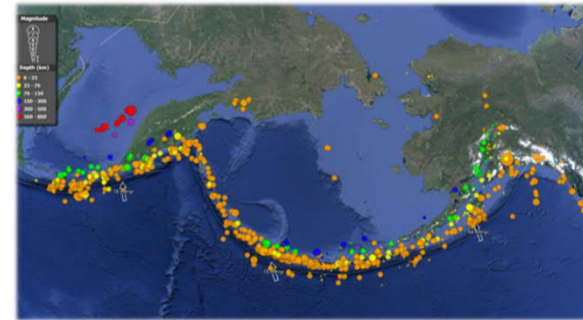
Seisminen hasardi, haavoittuvuus ja riski

- Seisminen hasardi (*seismic hazard*) kuvaa kohteen seismisyyden tasoa.
 - Miten suuri PGA-arvo esiintyy tietyllä todennäköisyydellä?
 - Ihmisen toiminnasta riippumaton asia.

- Seisminen haavoittuvuus (*seismic vulnerability*) kuvaa kohteen haavoittuvuutta maanjäristykselle.
 - Riippuu täysin siitä, mitä, minne ja miten rakennetaan.
 - Voidaan pienentää hyvällä maanjäristyssuunnittelulla.

- Seisminen riski (*seismic risk*) kuvaa mahdollisen maanjäristyksen seurauksia suhteessa sen todennäköisyyteen tapahtua.
 - Riski = Hasardi × Haavoittuvuus

- Kamtsatkan niemimaa ja Aleutit:
Erittäin korkea seisminen hasardi, mutta vähän ihmisiä.



- Ydinvoimalaitos Suomessa:
Erittäin alhainen seisminen hasardi, mutta maanjäristyksen aiheuttaman vakavan vaurion seuraukset katastrofaaliset.

- Seisminen riski on suuri monissa tiheästi asutuissa, mutta heikosti rakennetuissa kaupungeissa maanjäristykselle herkillä alueilla.

- | | |
|-----------------------|------------------|
| – Istanbul, Turkki | – Teheran, Iran |
| – Islamabad, Pakistan | – Quito, Ecuador |
| – Jakarta, Indonesia | – Lima, Peru |
| – Manila, Filippiinit | |

Korkea hasardi ja suuri haavoittuvuus.



- Tavanomaisten rakenteiden maanjäristyssuunnittelun mitoitustilanteet:

1) Pienehkö maanjäristys

- Ei synny rakenteellisia vaurioita.

2) Kohtuullinen maanjäristys

- Rakenteet periaatteessa kestävät, mutta voi syntyä vaurioita.
- Rakennuksen korjaaminen ei saa maksaa kohtuuttomasti verrattuna uuden rakentamiseen.

3) Voimakas maanjäristys

- Rakennus ei saa sortua, mutta syntyy merkittäviä vaurioita.
- Lähtökohtaisesti hyväksytään riski, että rakennus ei ole enää korjattavissa.
- Pääpaino ihmishenkien suojaamisessa aineellisten tuhojen jäädessä vähemmälle huomiolle.

Eurokoodissa

- Millä todennäköisyydellä maanjäristys sattuu rakennuksen käyttöaikana?
 - 1) Pienehkö – hyvin suurella todennäköisyydellä
 - 2) Kohtuullinen – (toistuu ~95 vuoden välein)
 - 3) Voimakas – hyvin epätodennäköisesti (toistuu ~475 vuoden välein)

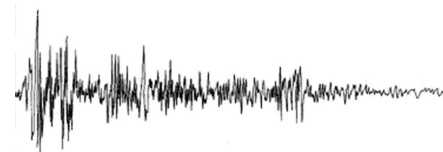
- Tärkeillä rakennuksilla (sairaalat, paloasemat jne.) tarkastellaan maanjäristyksiä, joiden keskimääräinen toistumisaika on em. pidempi (voimakkaampi maanjäristys).

- Valtaosa normien ohjeistuksesta liittyy voimakkaan maanjäristyksen tapaukseen.

- Kohtuullisen maanjäristyksen tapauksessa taloudelliset menetykset voivat hyvin merkittäviä.
 - ➔ Toiminnallinen maanjäristysmitoitus (*performance based seismic design*).

- Maanjäristyksestä ja tuulesta aiheutuu molemmista vaakakuormia, mutta mitoitus on selvästi erilainen.

Tuuli	Maanjäristys
- Mitoituskuorma realisoituu kerran 50 vuodessa.	- Mitoituskuorma realisoituu kerran ~475 vuodessa.
- Rakennus ei saa vaurioitua mitenkään.	- Rakennus saa mennä "lunastuskuntoon".
- Sinänsä ei ole mitään rajoitteita rakennesysteemille.	- Rakennesysteemille useita rajoituksia.
- Ei lisävaatimuksia mitoituksessa.	- Lisävaatimuksia mitoitukseen ja detaljeille.
- Lineaarinen analyysimalli vastaa hyvin rakenteen todellista käyttäytymistä.	- Erittäin epälineaarinen ilmiö rakenne-analyysin kannalta.



3. Maanjäristyskuormien suuruuteen vaikuttavat asiat

- Rakennesuunnittelussa maanjäristyskuormien suuruus riippuu:

1) Rakennuspaikan seismisestä aktiivisuudesta.

2) Maaperän laadusta.

3) Rakennuksen tärkeydestä.

4) Rakennesysteemistä.

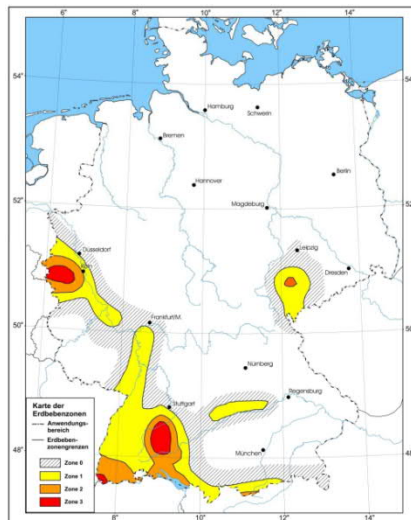
} Ei voida vaikuttaa.

} Rakennuksen käyttötarkoitus määrää.

} Arkkitehti ja rakennesuunnittelija voivat vaikuttaa.

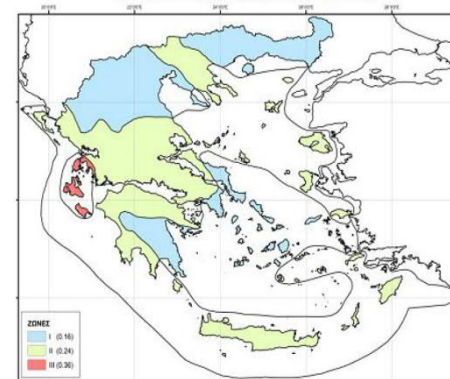
Rakennuspaikan seisminen aktiivisuus

- Rakennuspaikan seismisestä aktiivisuudesta kertoo PGA-arvo a_{gR} .
- a_{gR} nähdään kunkin maan normista tai kansallisen liitteen kartoista.
- Arvot vastaavat tiettyä todennäköisyyttä valitulla toistumisajalla.
- Yleensä käytetään 10 % todennäköisyyttä 50 vuoden aikana.
 ⇒ Annettu kiihtyvyys toteutuu keskimäärin ~475 vuoden välein.



Saksa

Seismic zone	Acceleration a_0 in m/sec^2
0	0.25 (0.025g)
1	0.40 (0.041g)
2	0.65 (0.066g)
3	1.00 (0.102g)



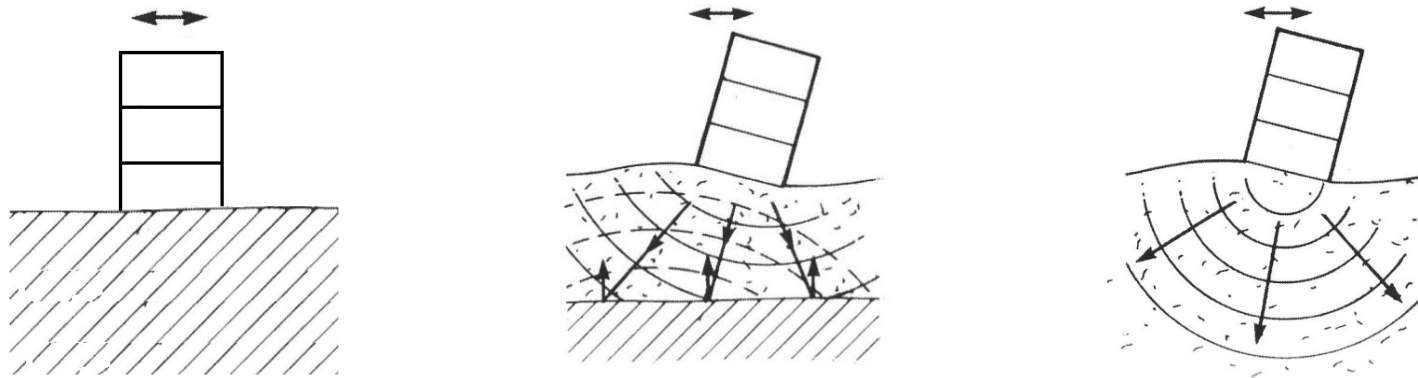
Kreikka

Seismic zone	a_g
I	0.16g
II	0.24g
III	0.36g

- Eurokoodissa on esitetty jaottelu seismisyyden tason suhteen:
 - "very low seismicity" $a_g \leq 0,04g$ tai $a_g S \leq 0,05g$
 - "low seismicity" $0,04g < a_g \leq 0,08g$ tai $0,05g < a_g S \leq 0,10g$
 - Normaali maanjäristysmitoitus $a_g > 0,08g$ tai $a_g S > 0,10g$
- } Kansallinen
valinta
mahdollinen.
- Tapauksessa "very low seismicity" ei tarvita maanjäristysmitoitusta.
 - Tapauksessa "low seismicity" voidaan haluttaessa käyttää yksinkertaistettuja suunnittelumenetelmiä.
 - Tavallisessa maanjäristysmitoituksen tapauksessa tulee huomioida kaikki EN 1998:n määräykset.

Maaperän laatu

- Maaperän laatu vaikuttaa merkittävästi maanjäristyskuormien suuruuteen.



- Pehmeät maakerrokset kallion päällä ovat tavallisesti epäedullisia, koska ne resonovat maanjäristyksen taajuusalueella.
- Peruskallio on paras maaperä, koska resonanssia ei synny.

- Eurokoodin maaperäluokittelu.

Maaperätekijä S :

Ground type	S
A	1,0
B	1,2
C	1,15
D	1,35
E	1,4

Maaperä heikkenee maanjäristyksen kannalta



Maaperätyyppi	Laatu
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1

Esimerkki. Mexico cityn maanjäristys 1985.



Date	19 September 1985
Magnitude	8.3 M_w (8.0 M_L)
Epicenter	 17.6°N 102.5°W ^[1]
Areas affected	Mexico
Tsunami	Yes (2+ meters)
Casualties	10,153–40,000 (see below)

- Järistyksen keskus 350 km:n päässä kaupungista.
- Kaupunki on rakennettu vanhan kuivatun järven päälle.
- Kehno maaperä syynä merkittäviin tuhoihin.

http://en.wikipedia.org/wiki/1985_Mexico_City_earthquake

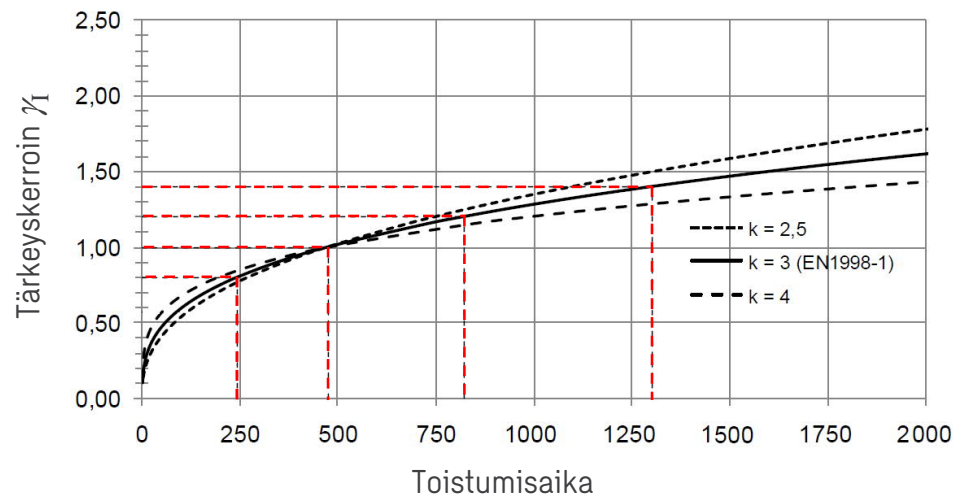
Rakennuksen tärkeyden vaikutus suunnitteluun

- Rakennuksen tärkeys vaikuttaa sen maanjäristyskuormien suuruuteen.
 - ➔ Tärkeyden perusteella valitaan tärkeyskerroin (eurokoodissa γ_I), jolla kerrotaan suoraan maanjäristyskuormia.
- Tärkeys kertoimen arvo 1 liittyy tavanomaisiin rakennuksiin.
 - Vähempiarvoisilla rakennuksilla tärkeyskerroin on alle yhden.
 - Tärkeillä rakennuksilla tärkeyskerroin on yli yhden.

- EN 1998 luokittelu.

Importance class	Buildings	
I	Buildings of minor importance for public safety, e.g. agricultural buildings, etc.	$\gamma_I = 0,8$
II	Ordinary buildings, not belonging in the other categories.	$\gamma_I = 1,0$
III	Buildings whose seismic resistance is of importance in view of the consequences associated with a collapse, e.g. schools, assembly halls, cultural institutions etc.	$\gamma_I = 1,2$
IV	Buildings whose integrity during earthquakes is of vital importance for civil protection, e.g. hospitals, fire stations, power plants, etc.	$\gamma_I = 1,4$

- Tärkeys kertoimen arvolla säädetään sitä maanjäristyksen toistumisaikaa, mihin varaudutaan voimakkaassa maanjäristyksessä.

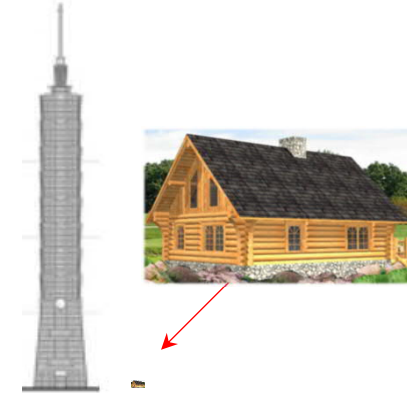


Tärkeysluokka	Keskimääräinen toistumisaika
I ($\gamma_I = 0,8$)	243
II ($\gamma_I = 1,0$)	475
III ($\gamma_I = 1,2$)	821
IV ($\gamma_I = 1,4$)	1 303

- Rakennuksen tärkeyden määrittelyssä saatetaan tarvita loppuasiakkaan apua.
- Hirsirakennukset ovat yleensä tavallisia rakennuksia ($\gamma_I = 1,0$).

Rakennesysteemi

- Maanjäristysvoimat ovat hitausvoimia, jotka riippuvat rakennuksen dynaamisista ominaisuuksista (geometriasta sekä jäykkyys- ja massajakaumasta).

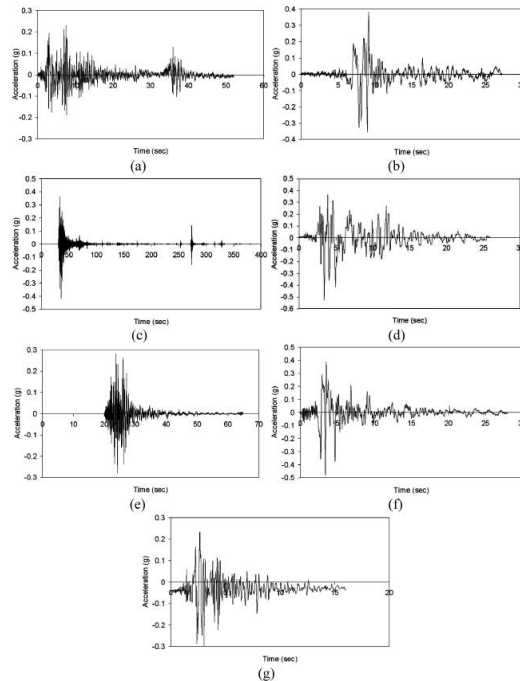


- Valittu jäykistysjärjestelmä vaikuttaa merkittävästi seismisiin mitoituskuormiin.
- Tarkoituksenmukaisesti valitulla jäykistysjärjestelmällä voi huonoon nähden helposti puolittaa maanjäristyskuormat.
- Maanjäristysmitoituksessa pitää tarkastella koko rakennetta, eikä vain sen osaa kerrallaan.
 - Ei ole käytännössä mahdollista vientiprojektissa, sillä betonirakenteet asiakkaan skoupissa.

4. Kapasiteettisuunnittelu – kaiken perusta

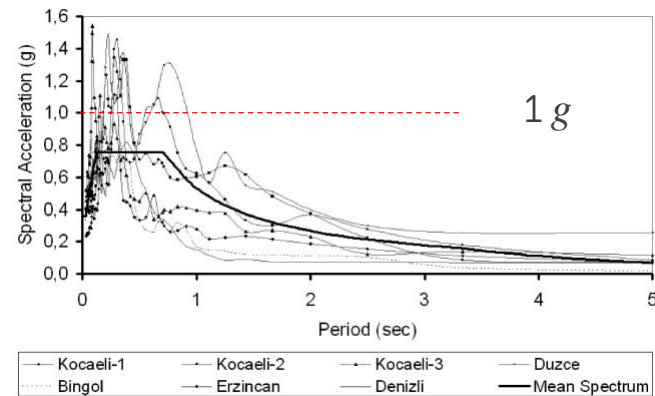
- Voimakkaasti seismisillä alueilla maanjäristyskuormat kasvavat hyvin suuriksi.

7 kpl aikahistorioita Turkista:



a) Kocaeli-1, b) Kocaeli-2, c) Kocaeli-3, d) Duzce
e) Bingol, f) Erzincan ja g) Denizli

Kiihtyvyysspektrit:

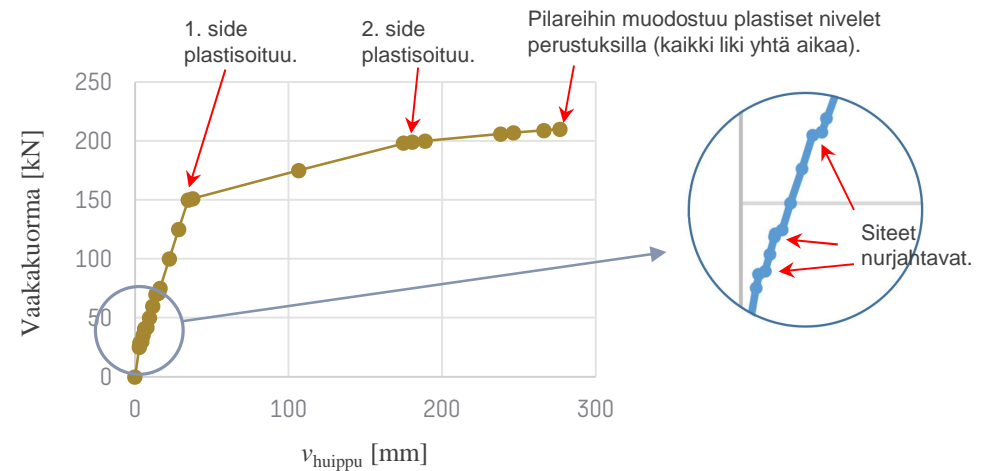
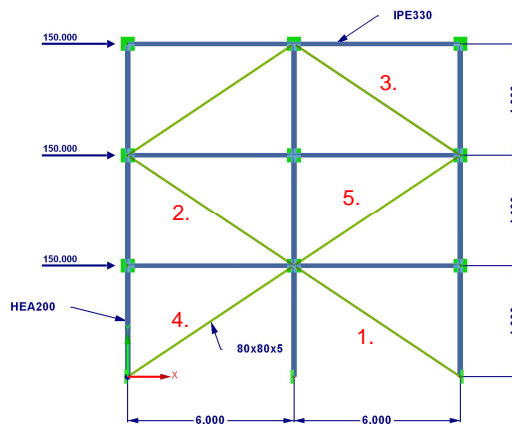


- Maanjäristyksen vaakakuorma voi olla helposti suurempi kuin pystykuormat yhteensä (oma paino + hyöty + lumi).
- Tuulikuorma jää selvästi pienemmäksi.

- Havaintoja maanjäristyksistä:

1. Voimakkaan maanjäristyksen todennäköisyys on lopulta melko pieni.
2. Kaikkien rakennusten suunnittelu kestämaan vakavan maanjäristyksen aiheuttamat kuormitukset ilman vaurioita tulee kalliiksi.
3. Monilla rakenteilla on vielä runsaasti kapasiteettia jäljellä ensimmäisten pysyvien muodonmuutosten jälkeen.

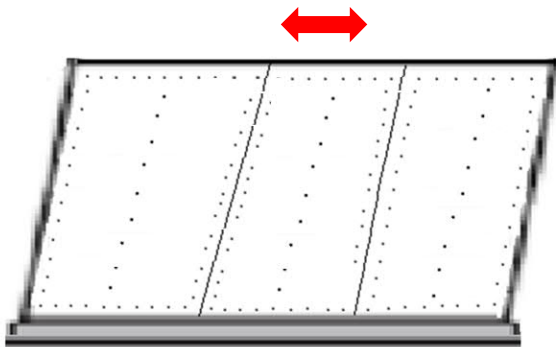
Esimerkkinä teräskehä.



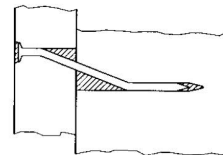
- Ensisijaisena rakennuksilla tavoitteena on henkilöturvallisuus, ei rakenteen vauriottomuus.
- On kokonaistaloudellista käyttää hyväksi rakenteen hallittua plastisoitumista maanjäristyksessä.
 - ➔ Lähtökohtaisesti voimakkaassa maanjäristyksessä merkittävät vauriot ovat hyväksyttäviä, kunhan henkilöturvallisuus ei vaarannu.
- Matalan seismisyyden tapauksissa ei läheskään aina kannata käyttää plastisoitumista hyväksi.
 - Mitoitetaan suuremmille elastisen spektrin kuormille.
 - Maanjäristyskuormia kannattaa verrata tuulikuormaan (leikkausperustuksilla).

- Moderni maanjäristysmitoitus perustuu kapasiteettisuunnitteluun (*capacity design*):
 - Valitaan rakennukselle ennalta jokin myötömekanismi, jonka mukaisesti rakennuksen halutaan deformatuman maanjäristyksessä.
 - Valituissa kohdin tapahtuu plastisoitumista ja maanjäristyksen energia dissipoituu lämmöksi.
 - Jotta haluttu mekanismi voisi toteutua, muut rakenteet tehdään ylilujiksi plastisoituviin osiin nähden.

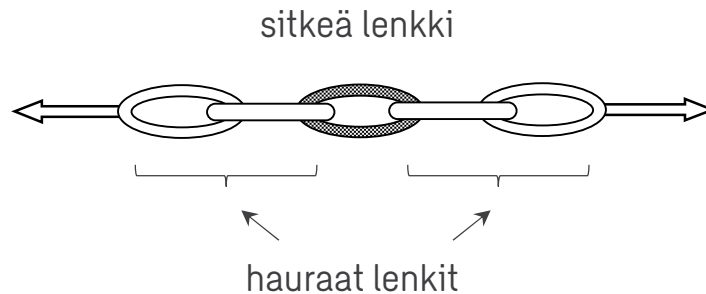
Esimerkkinä levyseinillä jäykistetty talo.



- Valituissa jäykistysseinissä iso joukko nauvoja myötää.



- Kapasiteettisuunnittelu havainnollistetaan usein ketjun avulla.

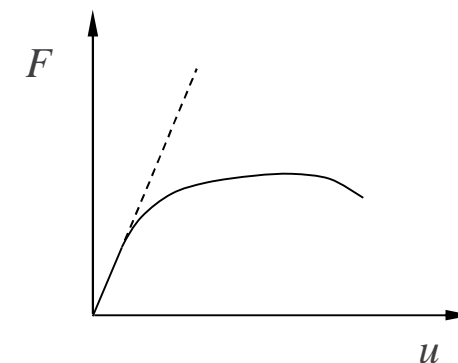
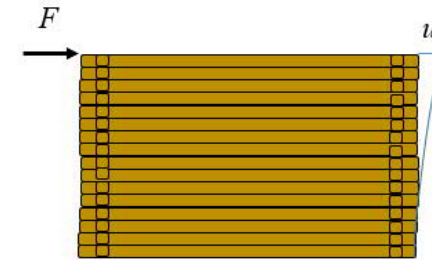


- Sitkeä lenkki venyy tarvittavan määrän.
- Voima jää niin pieneksi, että hauraat lenkit kestävät sen.

- Sitkeät osat suojaavat hauraita rakenteita.
- Plastisoituminen pienentää rakennuksen rasituksia verrattuna elastiseen käyttäytymiseen.

⇒ Elastinen spektri voidaan jakaa q :lla (1,5 ... 5), jotta saadaan suunnitteluspektri.

- Muut kuin myötäviksi tarkoitetut rakenteet säilyvät elastisella alueella.



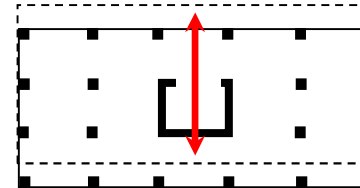
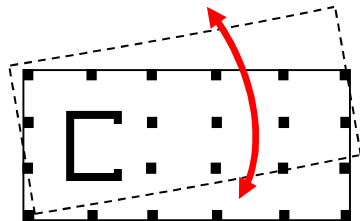
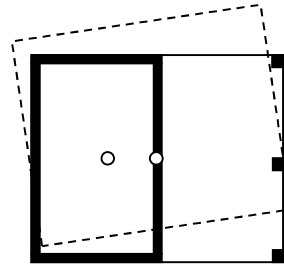
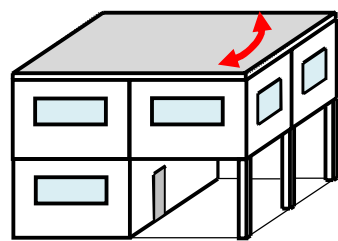
5. Konseptisuunnittelu, seismiset kuormat ja detaljit

- Rakenteiden maanjäristysmitoituksessa on kolme eri vaihetta:
 - 1) Konseptisuunnittelu
 - 2) Maanjäristyskuormien laskenta
 - 3) Detaljit
- } = maanjäristyssuunnittelu

Konseptisuunnittelu

- Konseptisuunnittelu = Rakennuksen osien sijoittelu ja muotoilu järkevästi.
- Konseptivaiheen ohjeet ovat idealtaan yksinkertaisia periaatteita, jotka kuitenkin vähentävät maanjäristyksen aiheuttamia rasituksia merkittävästi.
- Konseptivaiheen suunnittelu pitäisi tapahtua yhteistyössä arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan kanssa.

- Symmetrisyys (massa & jäykkyys) on tärkein periaate.
- Epäsymmetrisyys aiheuttaa vääntöä ja kasvattaa kantavien rakenteiden rasituksia merkittävästi.



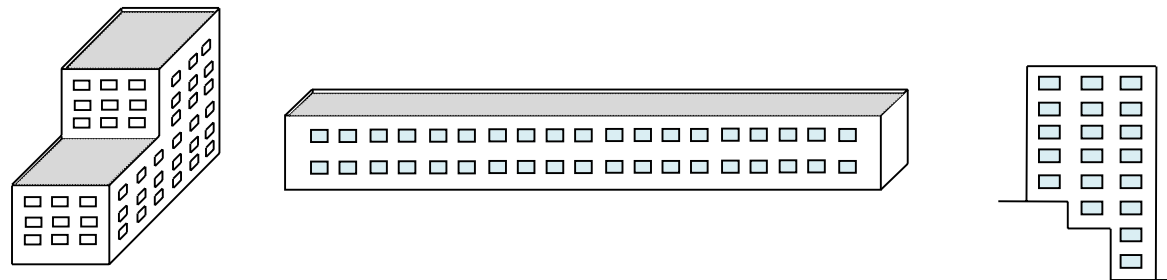
OK!



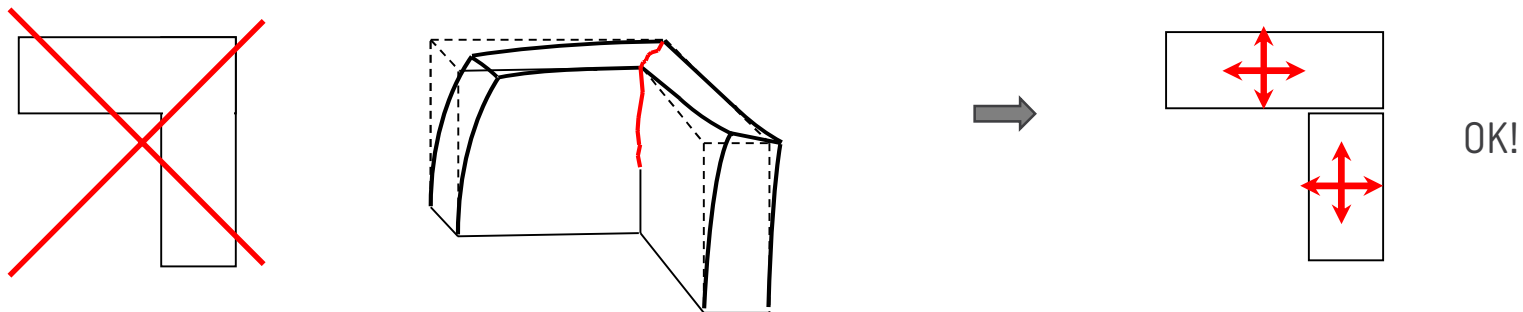
Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings, M.N. Fardis

- Säännöllisyys ja yksinkertaisuus on myös tärkeitä.
- EN 1998-1 esittää ehdot rakennuksen säännöllisyydelle tasossa ja pystysuunnassa.

Ei optimaalisia ratkaisuita.

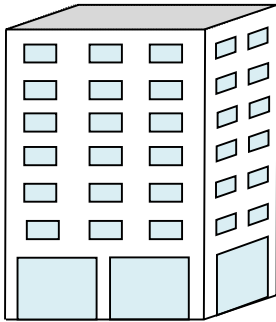


- Pohjaltaan epäsäännölliset rakennukset voidaan jakaa säännöllisiin osiin.



- Välin on oltava riittävän suuri, jotta rakennukset eivät hakkaisi vastakkain.

- Jäykkyydeltään muita löysemmät kerrokset ovat vaarallisia.

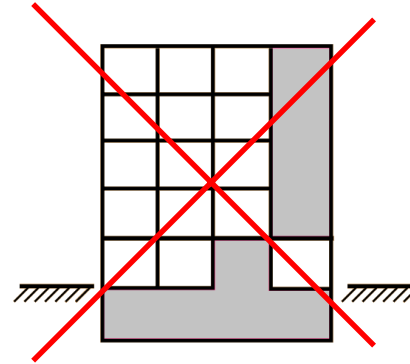
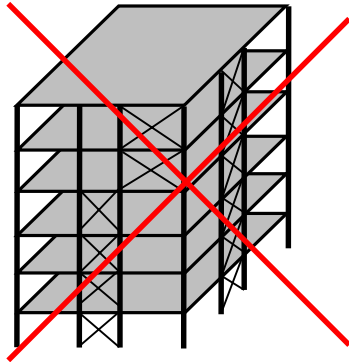


Wikipedia

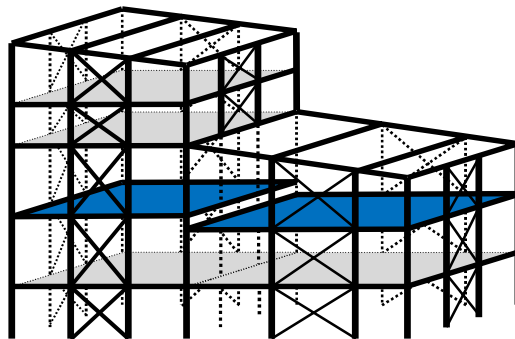
- Kapeat ja korkeat rakennukset ovat ongelmallisia.



- Jäykistysjärjestelmän tulee jatkua yhtenäisenä alhaalta ylös asti.



- Välipohjien tulee pystyä jakamaan kuormat jäykistäville rakenteille.



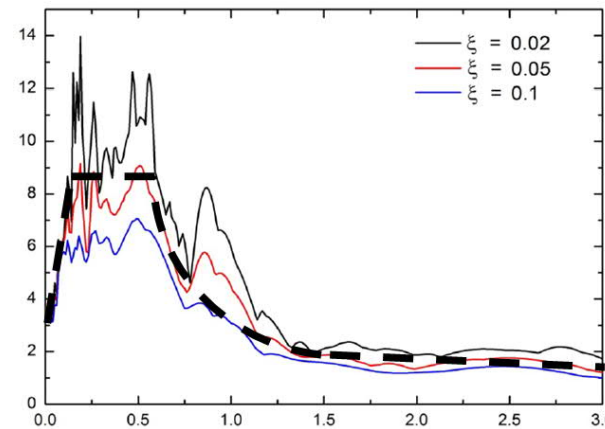
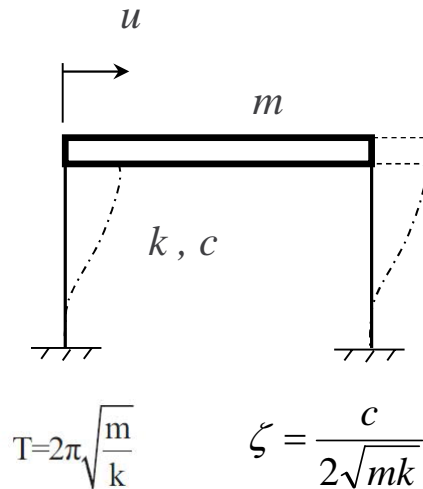
Isot rasitukset pilareille
välipohjan epäjatkuvuudesta.

- Jäykistyksen kannalta hyvä hirsirakennus:
 - Liki neliö tai suorakaiteen mallinen pohjaltaan tai ainakin sellaiseksi seismisillä saumoilla jaettavissa.
 - Matalahko laakea rakennus.
 - Pitkiä aukottomia (ei ikkunoita tai ovia) hirsiseiniä on tarjolla riittävästi.
 - Em. seinät sijaitsevat symmetrisesti ja tasaisesti eri puolilla taloa molemmissa rakennuksen pääsuunnissa.
 - Seinät jatkuvat yhtenäisinä perustuksilta vesikatolle asti.
 - Jäykistäville seinille tulee välipohjalta ja katolta omaa painoa.
 - Välipohja on yhtenäinen taso läpi talon (ei isoja aukkoja).
 - Kattotaso on yhtenäinen taso läpi talon.
 - Kohteessa kohtuullinen seismisyys ja lumikuorma.

- Jäykistyksen kannalta huono hirsirakennus:
 - Kapea, korkea ja pohjaltaan monimuotoinen.
 - Rakennus on täynnä erkkereitä yms. ”patteja”.
 - Suuret lasijulkisivut.
 - Kaikki seinät aukotettu ja vieläpä niin, että missään kohdin ei muodostu yhtenäistä seinää perustuksilta katolle.
 - Kaikki yhtenäisemmät seinät keskittyvät talon yhteen reunaan.
 - Seinät sivusuunnassa hivenen eri kohdissa ala- ja yläkerrassa.
 - Välipohja ei ole yhtenäinen, vaan siinä on paljon aukkoja, ja eri tasoissa.
 - Katto on monessa eri tasossa.
 - Yläkerran hirsiseinät kannatellaan pilareilla.
 - Korkea seismisyys ja iso lumikuorma.

Seismiset kuormat

- Maanjäristysmitoituksen perustana on *kiihtyvyysspektri*.
- Spektri esittää yhden vapausasteen värähtelijän vasteen (kiihtyvyys, nopeus, siirtymä) maksimiarvon ominaisvärähdysajan funktiona tietylle herätteelle.

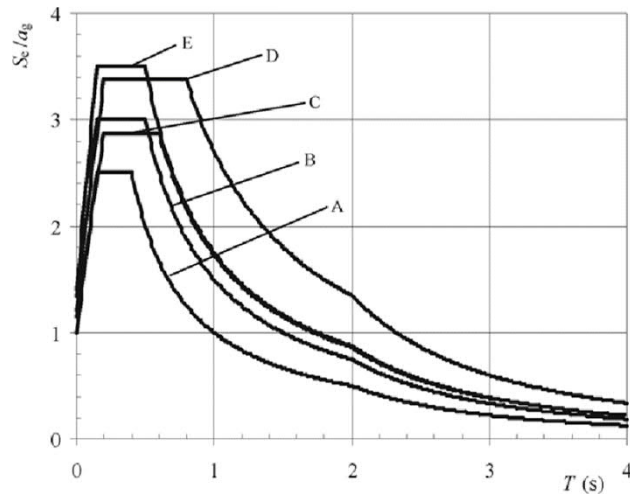


- Kiihtyvyy-, nopeus- ja siirtymäspektri ovat kytköksissä toisiinsa.

$$S_V = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot S_D \quad S_A = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \right)^2 \cdot S_D$$

- Maanjäristysuunnittelussa käytetään normin määräämää idealisoitua kiihtyvyysspektriä.

EN 1998-1: Elastic (horizontal) response spectrum



$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

- $a_g = \gamma_I a_{gR}$ PGA-arvo & tärkeys
- η huomioi vaimennuksen
- S, T_B, T_C ja T_D riippuvat maaperästä

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1.0	0,15	0,4	2.0
B	1.2	0,15	0,5	2.0
C	1.15	0,20	0,6	2.0
D	1.35	0,20	0,8	2.0
E	1.4	0,15	0,5	2.0

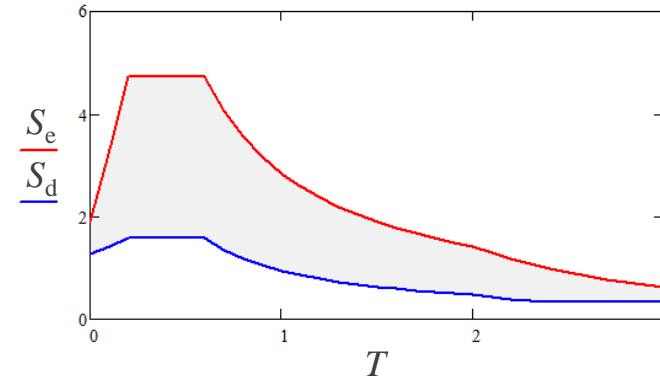
- Huomioimalla käytetyt rakenneratkaisut saadaan suunnitteluspektri.

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$



$$a_{gR} = 0,14g \quad \text{maaperäluokka C}$$

$$\gamma_I = 1,2 \quad q = 3$$

- Käyttäytymiskerroin q on tyypillisesti luokkaa 1,5 - 5.
- Käyttäytymiskerroin huomioi rakenteen kyvyn plastisoitua maanjäristyksessä.
- EN 1998 sisältää tyyppin 1 ja 2 spektrit, joista valitaan oikea NA:n perusteella.

- Tavallisesti tarvitaan vain vaakasuuntaista kiihtyvyysspektriä.
- Pystysuuntainen maanjäristyskuorma pitää huomioida jos $a_{vg} > 0,25g$ ja
 - Rakenteen jänneväli on yli 20 m.
 - Ulokemaisen rakenteen pituus on yli 5 m.
 - Palkeilla, jotka kannattelevat pilareita.

- EN 1998-1 mukainen pystysuuntainen kiihtyvyysspektri

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

Spectrum	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Type 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Type 2	0,45	0,05	0,15	1,0

- Joskus oletetaan, että pystysuuntainen spektri on 2/3 vaakasuuntaisesta.

Detaljit

- Jotta valittu myötömekanismi voisi toteutua, tulee liitoksien ja muiden yksityiskohtien suunnitteluun kiinnittää huomiota.
- Keskeisimmät vaatimukset:
 - Plastisoituvien osien sitkeä käyttäytyminen.
 - Elastisena säilyvien osien riittävä ylilujuus.
- EN 1998-1:n materiaalkohtaiset luvut 5 – 9 keskittyvät em. asioihin:
 5. Specific rules for **concrete** buildings
 6. Specific rules for **steel** buildings
 7. Specific rules for **composite steel- concrete** buildings
 - 8. Specific rules for **timber** buildings
 9. Specific rules for **masonry** buildings

6. Seismiset analyysimenetelmät

- EN 1998-1 mukaan rakenneanalyysissä voidaan käyttää:
 - Korvausvoimamenetelmää
 - Vastespektrimenetelmää
 - Pushover –analyysiä
 - Epälineaarista dynamiikan analyysiä
- } lineaarisia
- } epälineaarisia
- EN 1998-1 asettaa rakenneanalyysille vaatimuksia symmetrian perusteella.

Table 4.1: Consequences of structural regularity on seismic analysis and design

Regularity		Allowed Simplification		Behaviour factor
Plan	Elevation	Model	Linear-elastic Analysis	(for linear analysis)
Yes	Yes	Planar	Lateral force ^a	Reference value
Yes	No	Planar	Modal	Decreased value
No	Yes	Spatial ^b	Lateral force ^a	Reference value
No	No	Spatial	Modal	Decreased value

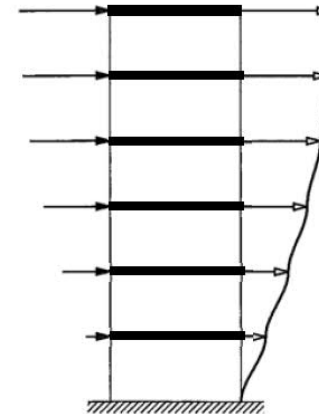
spatial = 3D

^a If the condition of 4.3.3.2.1(2)a) is also met.

^b Under the specific conditions given in 4.3.3.1(8) a separate planar model may be used in each horizontal direction, in accordance with 4.3.3.1(8).

Korvausvoimamenetelmä

- *Korvausvoimamenetelmä (lateral force method)* on yksikertaisin seisminen analyysimenetelmä.
- Ideana on korvata dynamiikan tehtävä sellaisella staattisella kuormitusjakaumalla, joka antaa saman siirtymämuodon kuin mitä alkuperäisessä dynamiikan tehtävässä maksimissaan olisi saatu.
- Oletuksena on, että rakenteen yksi (liki aina alin) ominaismuoto dominoi.
- Alimman ominaisvärähdysajan T (tai sen approksimaation) perusteella saadaan suunnitteluspektristä kiihtyvyys ja sen avulla voidaan edelleen määrittää korvausvoimat.
- Normit rajoittavat korvausvoimamenetelmän käytön yksinkertaisiin tapauksiin (matalat ja symmetriset rakennukset).

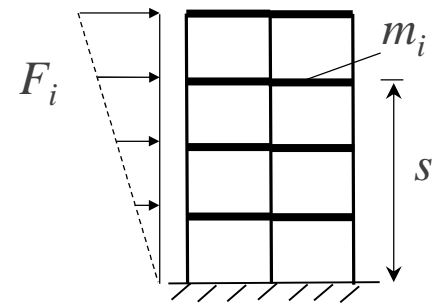


- Maanjäristyksen leikkausvoima perustuksilla F_b saadaan suunnitteluspektrin, alimman ominaisvärähdysajan T_1 ja seismisen massan m perusteella.

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

- Seisminen massa m tarkoittaa rakennuksen todennäköistä massaa maanjäristyksen aikana (sisältää myös osan hyöty- ja lumikuormista).
- Perustusten leikkausvoima jaetaan lineaarisesti alhaalta ylöspäin kasvavaksi voimajakaumaksi.

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j}$$



- Korvausvoimamenetelmän edut ja puutteet.

Edut:

- Yksinkertainen ja nopea.
- Puhdas statiikan analyysi.
- Sopii alustavaan suunnitteluun.

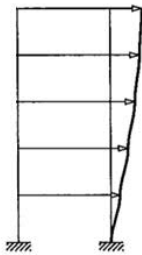
Puutteet:

- Toimii, jos rakennus käyttäytyy ulokkeen.
- Ei huomioi vääntö mitenkään.
- Normit rajoittavat käyttöä.

Vastespektrimenetelmä

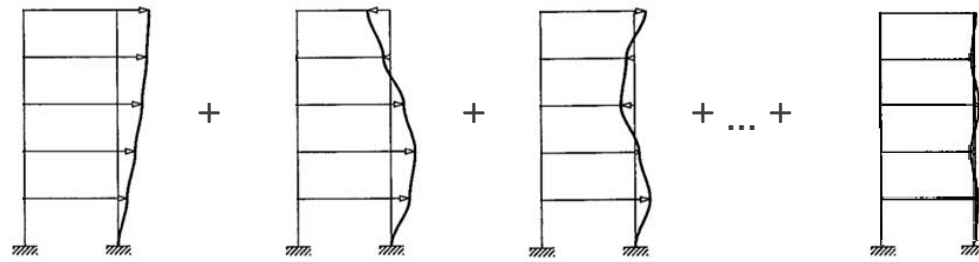
- Mikäli korvausvoimamenetelmän käytön ehdot eivät täyty, tulee siirtyä vastespektrimenetelmän (*response spectrum method*) käyttöön.
- Korvausvoimamenetelmä on vastespektrimenetelmän erikoistapaus.
- Vastespektrimenetelmässä huomioidaan useampien ominaismuotojen vaikutus rakenteen vasteeseen.

Korvausvoimamenetelmä



$$T, \varphi, M$$

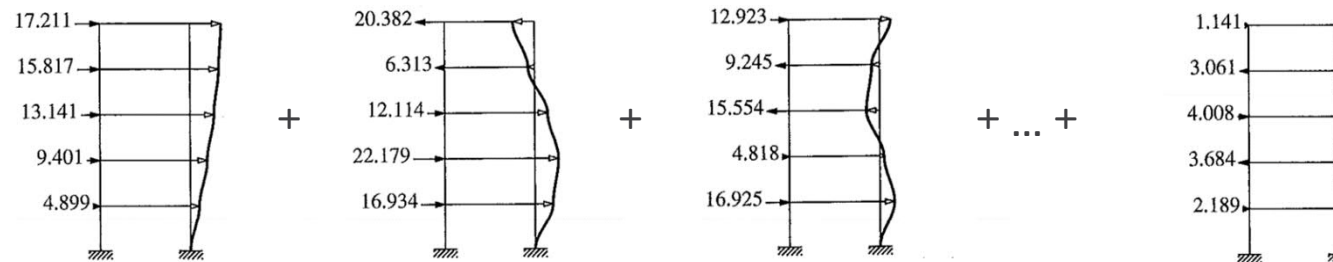
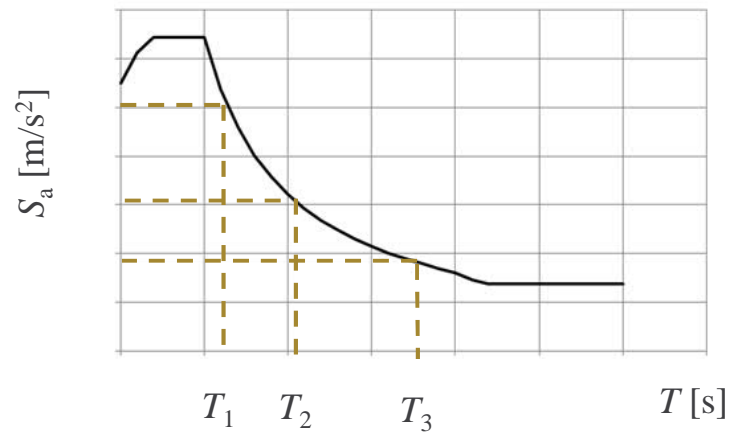
Vastespektrimenetelmä



$$T_1, \varphi_1, M_1 \quad + \quad T_2, \varphi_2, M_2 \quad + \quad T_3, \varphi_3, M_3 \quad + \dots + \quad T_n, \varphi_n, M_n$$

- Kuhunkin ominaismuotoon liittyy osa seismisestä massasta (moodimassa).

- Kutakin ominaismuotoa vastaava staattinen voimajakauma lasketaan suunnitteluspektrin avulla.



- Staattiset voimajakaumat vastaavat ominaismuotojen maksimivasteita.

- Lopullinen rakenteen vaste yhdistellään voimajakaumien aiheuttamista vasteista.
- Ongelmana yhdistelyssä on, että maksimivasteet tiedetään, mutta ei sitä, missä vaiheessa ne esiintyvät.
- Yhdistelymenetelmiä on lukuisia, mutta tavallisimmat ovat

Square root sum of squares, SRSS

$$R = \sqrt{\sum_i R_i^2}$$

Voimajakauman i aiheuttama siirtymä, voima, momentti jne.

Complete quadratic combination, CQC

$$R = \sqrt{\sum_i \sum_j r_{ij} R_i R_j}$$

$$r_{ij} = \frac{8\sqrt{\zeta_i \zeta_j} (\zeta_i + \rho \zeta_j) \rho^{3/2}}{(1 - \rho^2)^2 + 4\zeta_i \zeta_j \rho (1 + \rho^2) + 4(\zeta_i^2 + \zeta_j^2) \rho^2}$$

$$\rho = T_i / T_j$$

- Ei ole olemassa yhtä oikeaa tapaa yhdistelyyn.

- Vastespektrimenetelmä (*response spectrum method*) on muodostunut nykyään eniten käytetyksi seismiseksi analyysimenetelmäksi.
- Vastespektrimenetelmä löytyy käytännössä kaikista FEM-ohjelmista.
- Vastespektrimenetelmän edut ja puutteet.

Edut:

- Yksinkertainen.
- Nopea (lineaarinen).
- Ominaismuotojen laskeminen auttaa ymmärtämään rakenteen dynaamista käyttäytymistä.

Puutteet:

- Lineaarinen.
- Yhdistely epämääräistä.
- Rasitukset eivät ole enää tasapainossa.

- Vastespektrimenetelmän käyttökelpoisuus käytännössä hirsikohteessa kyseenalaista.

7. Puu materiaalina maanjäristyskohteissa

- Puu on kaksijakoinen rakennusmateriaali maanjäristyksen kannalta:

Puu sopii rakennusmateriaaliksi maanjäristyskohteisiin paremmin kuin betoni tai tiili.

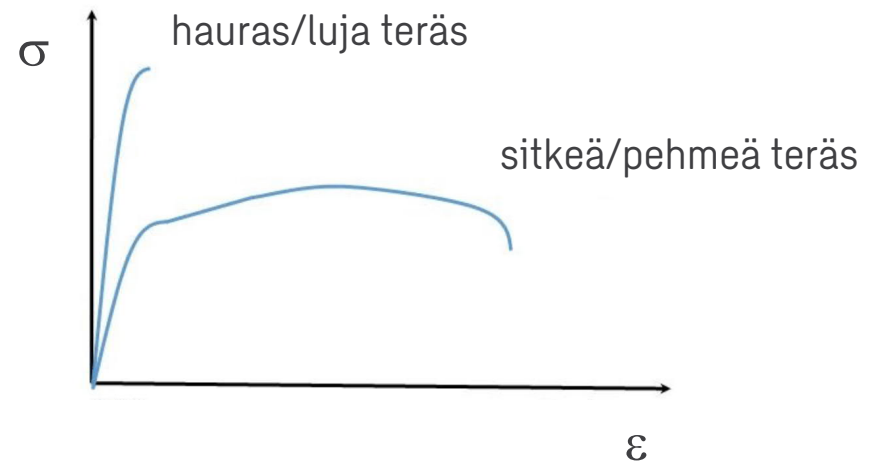
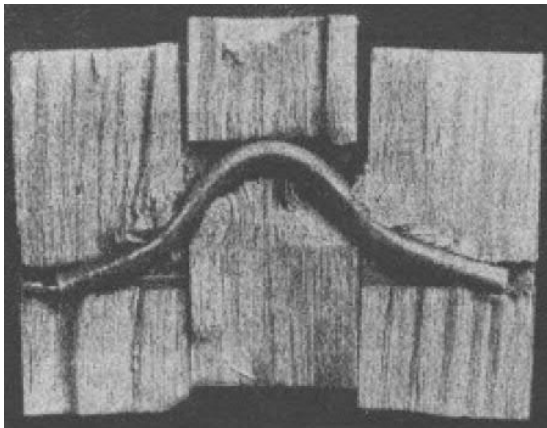
- Kevyttä, jolloin maanjäristyskuormat jäävät pieniksi ($F = ma$).
- Lujaa suhteessa painoonsa.

mutta toisaalta,

Puun ongelmana on, että se murtuu hauraasti.

- Veto syysuunnassa tai syitä vastaa kohtisuoraan, leikkaus.
- Vaikka puu pystyy plastisoitumaan esim. puristuksessa poikkisyyttä vasten, ei tämä muodonmuutos palaudu.

- Puurakenteiden sitkeys syntyy puhtaasti teräksisistä liitososista.
 - Liimaliitokset tai puusepäneliitokset eivät toimi maanjäristyksessä, elleivät säily kimmoisina.
- Liitoksissa teräsosien pitää myötää ennen puun murtumista.
 - Teräsliittimien (naulat, ruuvit, pultit jne.) pitää olla riittävän ohuita.
 - Teräksen tulee käyttäytyä sitkeästi.



- EN 1998-1 mukaan teräsosien tulee täyttää EN 1993-1-1 sitkeysvaatimukset.

Huom. Raja-arvot suhteelle f_u/f_y , murtovenymälle ja tasavenymälle ϵ_u voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Suositeltavat arvot ovat:

- $f_u / f_y \geq 1,10$
- murtovenymä vähintään 15 %;
- $\epsilon_u \geq 15 \epsilon_y$, missä ϵ_y on myötövenymä ($\epsilon_y = f_y / E$).

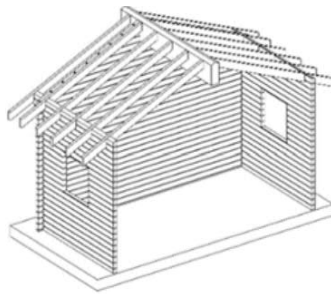
- Teräksen sitkeysvaatimukset
 - Täyttyvät rakenneteräksillä laatuun S450 asti ja lujuusluokan 4.6 kierretangolla.
 - Eivät täyty harjateräksillä tai lujemmilla kierretangoilla.
- Puurakenteissa on monesti paljon liitoksia, joissa maanjäristysenergia voi muuttua lämmöksi teräksen myötäämisen ja osien välisen kitkan avulla.

- Maanjäristys on hetkellinen onnettomuuskuorma.
 - ➔ Lujuusarvot paremmat kuin murtorajatilassa.
- Sahatavara ja hirret ovat aina rajoitetun mittaisia.
 - ➔ Rakenteisiin tulee väistämättä jatkoksia (liimapuulla ja LVL:llä vähemmän).

8. Puurakenteiden mitoituskonseptit

- Puurakenteiden mitoitus voidaan tehdä kahdella periaatteeltaan erilaisella perusidealla (ns. mitoituskonseptit).
 - a) Energiaa dissipoivat rakenteet.
 - b) Energiaa heikosti dissipoivat rakenteet.
- Energiaa dissipoivat rakenteet.
 - Käytetään hyväksi rakenteen kykyä plastisoitua ja siten dissipoida maanjäristyksen energiaa lämmöksi.
 - Sitkeysluokat DCM (*ductility class medium*) ja DCH (*ductility class high*)
 - Käyttäytymiskertoimen q arvo riippuu sitkeysluokasta.
 - Koska käyttäytymiskerroin q on iso ($q = 2 \dots 5$) jäävät maanjäristyksen suunnittelukuormat pieniksi.
 - Rakenteen tulee täyttää kaikki puurakenteille asetetut maanjäristyksen erityisohjeet.

- Energiaa heikosti dissipoiivat rakenteet
 - Rakenteella (liitoksilla) ei ole kykyä plastisoitua.
 - Koska käyttäytymiskerroin $q=1,5$ on pieni, ovat maanjäristyksen suunnittelukuormat suuria.
 - Rakenteen ei tarvitse täyttää mitään erityisohjeita ja mitoitus voidaan tehdä normaaliin tapaan EN 1995-1-1 mukaan.
- Nykyinen eurokoodin versio ei tunnista hirsirakenteita.
- Päivitetty maanjäristyseurokoodi todennäköisesti tulevaisuudessa sisältää ohjeistusta myös hirsirakenteisiin.



c) Log structures

Log structures are those where the primary structure is composed by the superposition of rectangular or round solid or glulam timber elements ('logs'), prefabricated with carpentry connections at their ends and with upper and lower grooves.

Log structures should be designed according to **13.9**.

- Käyttäytymiskertoimen q suurimmat sallitut arvot eri sitkeysluokissa.

	Design concept and ductility class	q	Examples of structures
konsepti b)	Low capacity to dissipate energy - DCL	1,5	Cantilevers; Beams; Arches with two or three pinned joints; Trusses joined with connectors.
	Medium capacity to dissipate energy - DCM	2	Glued wall panels with glued diaphragms, connected with nails and bolts; Trusses with doweled and bolted joints; Mixed structures consisting of timber framing (resisting the horizontal forces) and non-load bearing infill.
konsepti a)		High capacity to dissipate energy - DCH	2,5
	3		Nailed wall panels with glued diaphragms, connected with nails and bolts; Trusses with nailed joints.
	4		Hyperstatic portal frames with doweled and bolted joints (see 8.1.3(3)P).
		5	Nailed wall panels with nailed diaphragms, connected with nails and bolts.

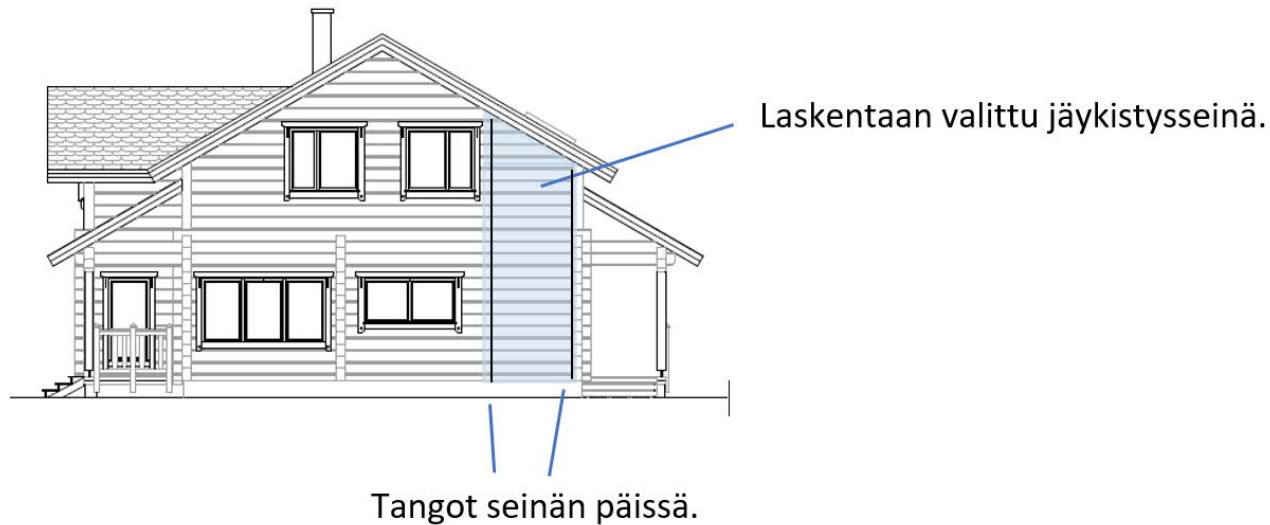
- ”Tuhannen taalan kysymys”: Mitä q :n arvoa tulisi käyttää hirsitalossa?
 - Eurokoodin nykyisen ohjeistuksen mukaan hyvällä maulla arvioitu arvo $q = 2,5$.
 - Eurokoodin tuleva ehdotus $q = 2,0$.

- Käyttäytymiskertoimen arvossa tulee pelkän taulukon maksimiarvon lisäksi harkita:
 - Rakenteen säännöllisyyttä pysty- ja vaakasuunnissa.
 - Yksityiskohtien todellista kykyä toimia sitkeästi.

- Käyttäytymiskerrointa vastaava parametri löytyy hieman eri nimellä muistakin normeista.
 - ASCE-7, response modification factor R (tyypillisesti saa isompia arvoja kuin q).
 - SP, kerroin K_1 , jolle annetaan puurakennuksilla vain yksi arvo 0,15 ($1/0,15 = 6,7$).

9. Hirsisten jäykistysseinien suunnittelu

- Hirsisten jäykistysseinien valinta.

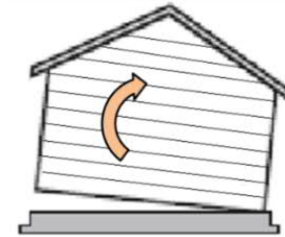


- Jäykistysseinät aukottomia ja mahdollisimman pitkiä.
- Sijaitsevat symmetrisesti ja tasaisesti rakennuksessa.
- Ylettyvät yhtenäisinä perustuksilta ylös asti.
- Kantavat myös pystykuormaa.

- Jäykistysseinien mitoituskriteerit.

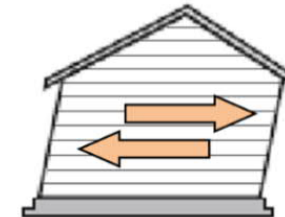
1. Kaatumisen estäminen.

- Seinien päissä on terästangot kaatumista vastaan.



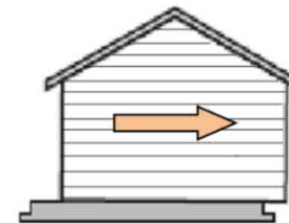
2. Riittävä vaakakestävyys.

- Hirsien liukuminen estetään vaarnoilla.

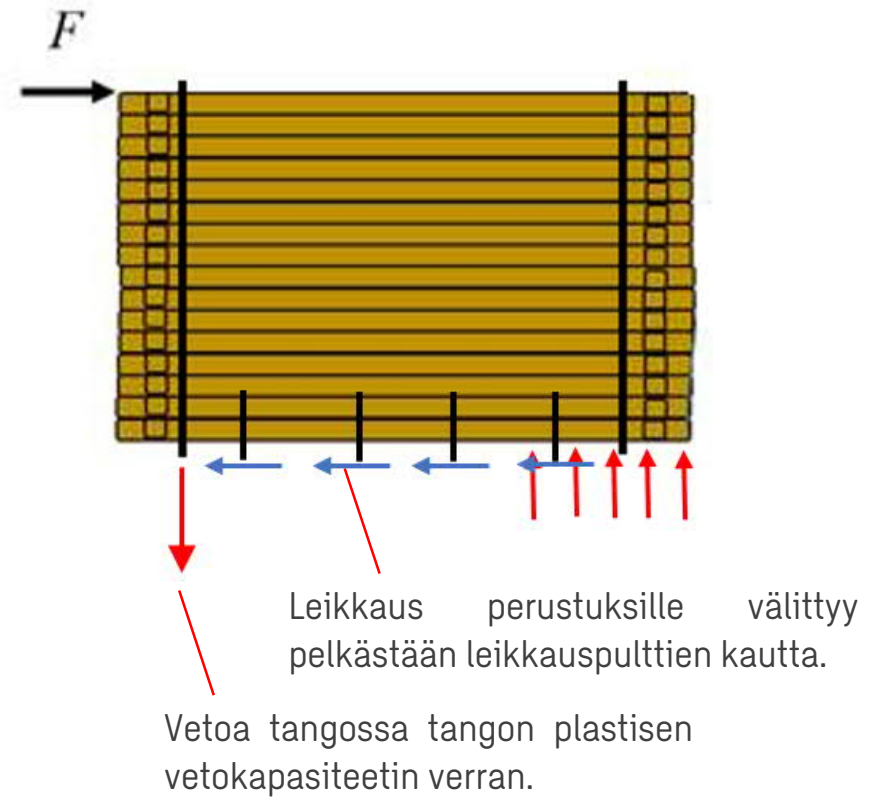
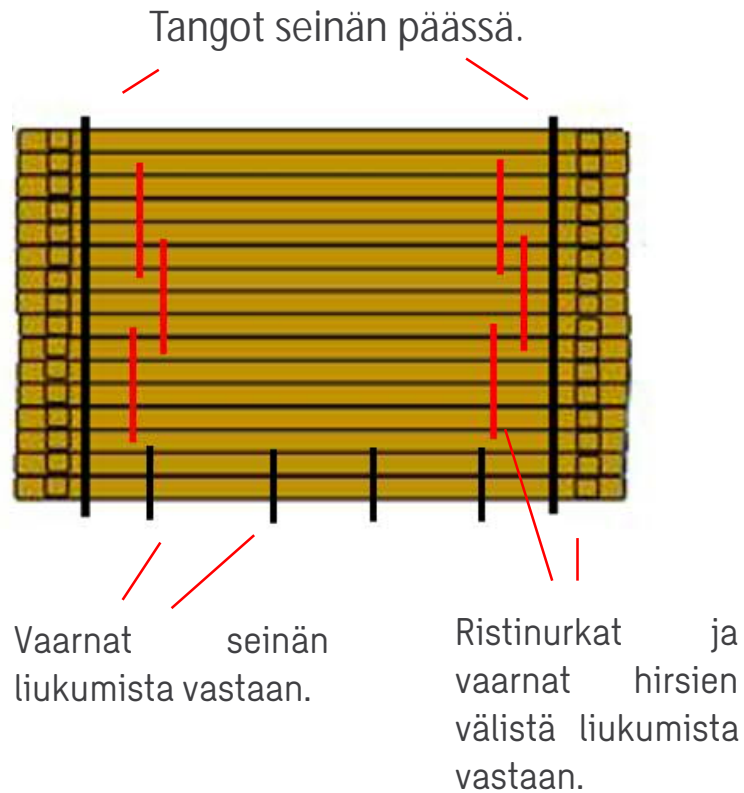


3. Liukumisen estäminen.

- Alimmat hirret ankkuroidaan pulteilla perustuksiin.



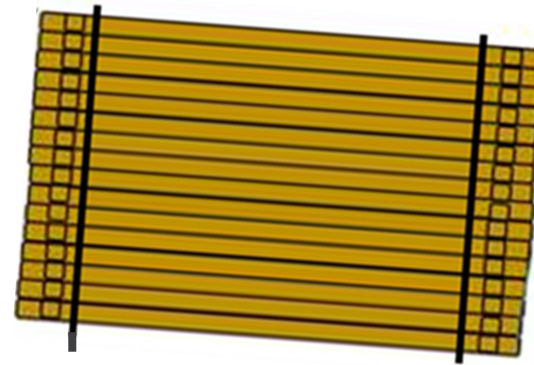
- Hirsisen jäykistysseinän toiminta.



➔ Tanko pitää ankkuroida perustuksiin vetokapasiteettia suuremmalle voimalle.

- Miten hirsinen jäykistysseinä dissipoi maanjäristyksen energiaa?

- Päiden tangot myötävät.



- Hirsien väliset leikkausvaarnat myötävät.

- Hirret hankaavat toisiaan vasten.



10. Kokemuksia hirsirakennusten suunnittelusta maanjäristysolosuhteisiin

- Suunnittelutyössä (materiaalista riippumatta) vastaan tulleita ongelmia:
 - Epäselvyydet seismisyyden tasosta kohdemaassa.
 - Maaperätiedot puuttuvat ja rakennuksen tärkeyttä ei ole mietitty.
 - Pelkkä maanjäristyskuormien laskenta ei riitä, vaan on huomioitava
 1. Konseptisuunnittelu. Usein sama arkkitehtuuri maanjäristyskohteessa kuin ei-maanjäristyskohteessa.
 2. Detaljit. Samat detaljit käytössä maanjäristyskohteessa kuin ei-maanjäristyskohteessa.
 - Maanjäristyksen aiheuttamia lisäkustannuksia verrattuna tavalliseen tapaukseen nähden ei voi sanoa tarkasti asiakkaalle, koska seismisyyden tason lisäksi moni muukin asia vaikuttaa kokonaisuuteen.
 - Maanjäristysmitoitusta ei voi tehdä paloittain rakennukselle.

- Normien yhdistely eli normisurffaus. Maanjäristyskuormat otetaan kohdemaan normista ja muuten suunnittelu haluttaisiin tehdä jollakin muulla normilla.
- Rakenteiden toimitusraja menee tyypillisesti rungon alapinnassa ja paikallinen toimija hoitaa betonirakenteiden suunnittelun. Miten varmistetaan kokonaisuuden toimivuudesta?
- Erilaiset käytännöt maailmalla. Joissakin maissa maanjäristyksiin suhtaudutaan hyvin vakavasti ja toisaalla ne eivät juuri kiinnosta, vaikka seismisyyden taso olisi korkea.
- Maanjäristysnormit kehittyvät jatkuvasti (eurokoodit ENV vs. EN ja ASCE/AISC-10 vs. -16) ja niissä on selviä eroja eri maiden välillä.
- Onko spektrin arvot annettua suoraan muodossa m/s^2 vai suhteessa putoamiskiihtyvyyteen g ?

- Hirsirakennukset ovat pärjänneet maanjäristyksissä suhteellisen hyvin.

Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. XX, No. Y, Month 2017

LOG HOUSE PERFORMANCE IN THE 2016 KAIKOURA EARTHQUAKE

Andy Buchanan¹ and Daniel Moroder²

(Submitted *March 2017*; Reviewed *XX*; Accepted *XX*)

ABSTRACT

This paper describes the performance of log houses in the 2016 Kaikoura earthquake. Most of these houses are in the Mt Lyford village 45 km south-east of Kaikoura.

Typical log houses at Mt Lyford were built using 200mm diameter machined logs. A smaller number of log houses were built with much larger hand-hewn logs of less regular shapes, in traditional log house construction. Most houses were constructed on a concrete slab incorporating the foundations. A small number, especially those on steep sites, had timber poles supporting a timber ground floor platform.

Most of the log houses suffered some lateral movement and subsequent damage. Very few of the houses were damaged beyond repair, and the overall performance was excellent considering the nature of the quake.

One house close to Waiau suffered extreme near-fault shaking, leading to extensive damage, but this is considered to be the result of exceptional ground movement rather than any deficiencies in the design or construction.