LUONNONKUORMAT VIENTIPROJEKTEISSA

TkT Jussi Jalkanen

Sisältö

1. Johdanto
2. Tuuli
3. Maanjäristys
4. Lumi
5. Yhteenveto

1. Johdanto

- Suomessa ei riitä, että osaamme suunnitella teräsrakenteita kotimaan olosuhteisiin.
  1) Suomessa toimivilla teknologiayrityksillä on vientiä ympäri maailmaa.
     - Teollisuuslaitoksia.
     - Voimalaitoksia.
     - Koneita ja laitteita.
  2) Kun projektissa muu suunnittelu on Suomessa, teräsrakenteiden mitoittamista ei voida käytännön syistä tai aikataulun takia teettää kohdemaassa.
- Luonnonkuormien (tuuli, maanjäristys ja lumi) suuruudet poikkeavat maailmalla Suomessa totutusta.
- Luonnonkuormien määrittelyt ovat usein erilaisia eri normeissa.
- Usein halutaan ottaa kuormitukset kohdemaan paikallisesta standardista ja tehdä rakenteen mitoitus jollakin toisella tutummalla standardilla (eurokoodi tai AISC).
- Eri normien sekakäyttö ristiin ei ole suotavaa ja pahimmillaan johtaa merkittäviin virheisiin, jos suunnittelija ei ymmärrä keskenään sotkemiensa normien lähtökohtia.

- Teollisuuden teräsrakenteiden mitoituksessa pitäisi miettiä prosessin harvinaisen kuorman esiintymistodennäköisyyttä (normaali käyttö vs. onnettomuus) suhteessa luonnonkuormiin.

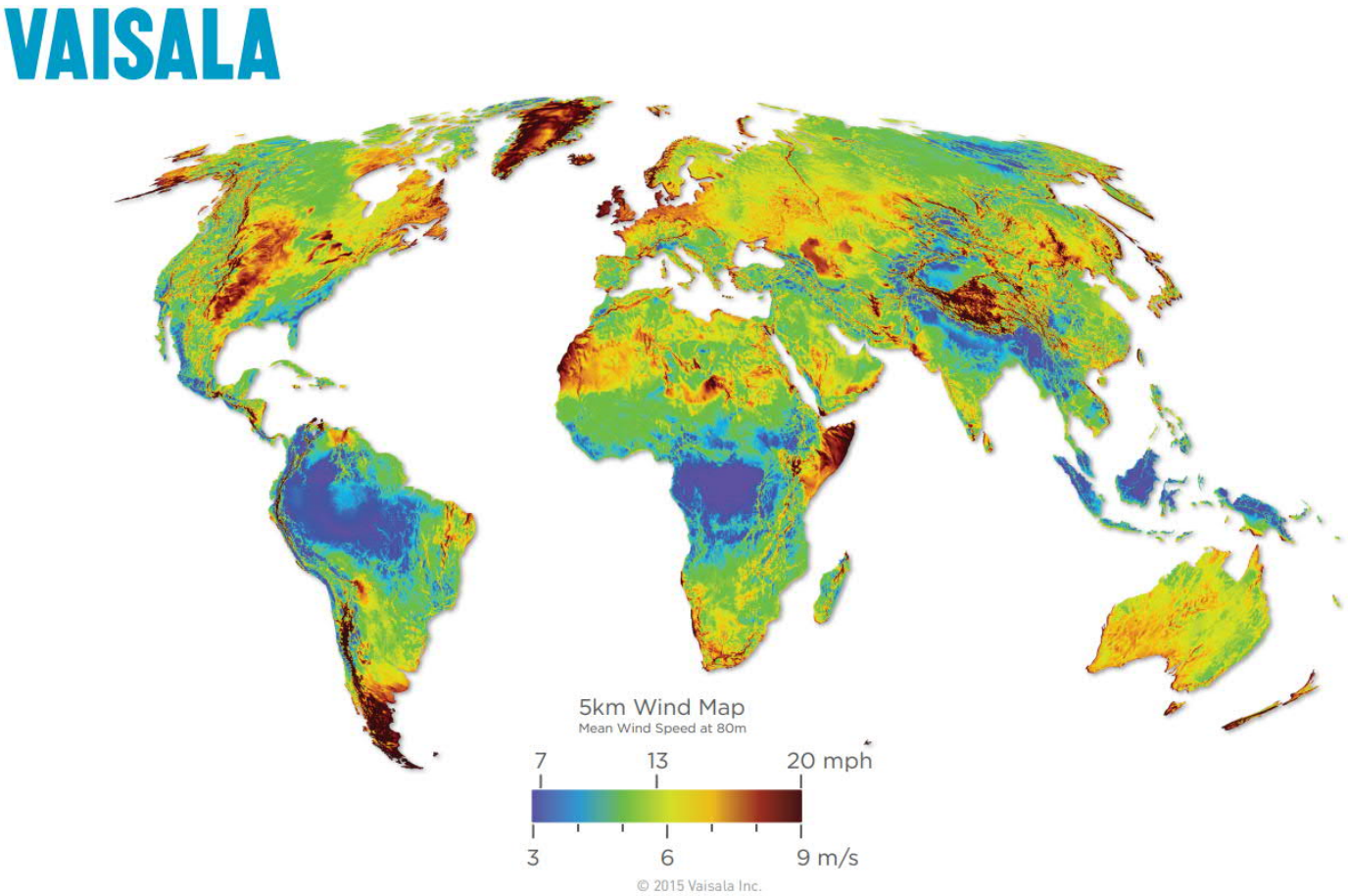
- Rakenteiden mitoituksen kannalta on hyvä tietää, onko määräävämpi tuuli- vai maanjäristyskuorma.

- Esityksessä esitellään tuuli- maanjäristys- ja lumikuormia sekä käsitellään joitakin projekteissa vastaan tulleita eroavaisuuksia eri normien välillä.

Omia vientiprojekteja viimeisten 5 vuoden ajalta, joissa on tarvittu luonnonkuormien määrittämistä.

2. Tuuli

- Ilmasto ja siten tietysti myös tuulisuus eri puolilla maapalloa vaihtelevat selvästi.



- Rakennesuunnittelussa kiinnostaa maksimituuli, ei yleinen tuulisuuden taso.

Eri maiden luokittelu maksimituulen mukaan (Holmes J., *Wind Loading of Structures*)

Table D.1 A classification system for design wind speeds

Level	*1-sec gust*[a] *(m/s)*	*10-min mean (m/s)*
I	<35	<22
II	35–45	22–30
III	45–55	30–35
IV	55–65	35–40
V	>65	>40

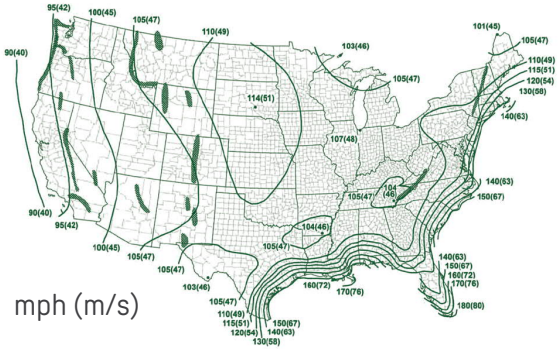
Note: 50-Year return period wind speeds at 10-m height.

[a] This is a nominal value, based on a moving-average definition of gust duration (see Section 3.3.3). Peak gusts with durations ranging from 0.2 to 3 s are used, or are in consideration, for national wind codes and standards.

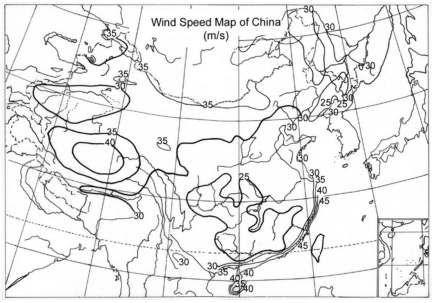
		Tuulisuusluokka				
	Maa	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Eurooppa	Belgia		x			
	Espanja		x			
	Grönlanti				x	
	Hollanti		x			
	Irlanti		x			
	Islanti		x			
	Iso-Britannia		x			
	Italia		x	x		
	Itävalta		x			
	Kreikka			x		
	Norja		x	x		
	Puola		x	x		
	Portugali		x	x		
	Ranska		x	x		
	Romania	x	x			
	Ruotsi		x			
	Saksa		x	x		
	Suomi		x			
	Sveitsi		x	x		
	Tanska		x			
	Ukraina	x	x	x		
	Venäjä		x	x	x	x
Lähi-Itä	Israel		x			
	Turkki		x	x		
Pohjois-Amaerikka	USA		x	x	x	
	Kanada		x	x		

		Tuulisuusluokka				
	Maa	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Keski-Amerikka	Bahama					x
	Haiti		x	x		
	Jamaica			x		
	Kuuba		x	x		
	Meksiko	x	x	x	x	
	Puerto Rico				x	
Etelä-Amerikka	Argentiina		x	x		
	Brasilia	x	x	x		
	Uruguay		x			
	Australia		x	x	x	x
	Uusi-Seelanti	x	x	x	x	
Aasia	Hong Kong				x	
	Indonesia	x				
	Intia	x	x	x	x	x
	Japani		x	x	x	x
	Korea		x	x	x	
	Kiina		x	x	x	
	Malesia	x				
	Philippiinit			x	x	x
	Singapore	x				
	Sri Lanka	x	x	x		
	Taiwan					x
	Thaimaa	x	x	x		
Persianlahti	Bahrain		x			
	Qatar		x			
	Saudi-Arabia		x	x		
	Yhdistyneet arabiemiraatit		x			
Afrikka	Egypti	x	x			
	Etiopia	x				
	Etelä-Afrikka		x	x		

- Huomioita maksimituulesta.
  - Yleinen tuulisuuden taso ei välttämättä korreloi maksimituulen suuruuden kanssa.
  - Riittävää maksimituulen (tuulikuorman) suuruutta on vaikea arvioida, ellei sitä katso kohdemaan normista.
  - Rannikoilla esiintyvät isommat tuulet varsinkin jos on mahdollisuus trooppisiin myrskyihin (hurrikaani tai taifuuni).
  - Mantereiden sisäosissa on pienemmät tuulet (huom. hurrikaanit USA:ssa).
  - Vuoristoseudut vaativat yleensä tarkempaa määrittelyä.



ASCE 7-16 (risk category II)



m/s

GB 50009 - 2001

- Normeissa on erilaisia määritelmiä perustuulennopeudelle (keskiarvotusaika ja toistumisväli).

Table 15.1 Definitions of basic wind speeds

Code	*Averaging time*	*Basic return periods*[a]
ISO 4354:2009	3 s (10 min)	Not specified
EN 1991-1-4.6	10 min	50 years
ASCE 7-10	3 s	350–700–1700 years
AIJ	10 min	100 years
AS/NZS1170.2:2011	0.2 s	500–1000 years[b]

[a] For ultimate limit states design.
[b] A wide range of return periods are provided in AS/NZS 1170.2 for various limits states, and important levels.

← Myös Venäjä ja Kiina.
← Muuttunut 05-versioon nähden.

Holmes J., *Wind Loading of Structures*

- Logiikka normeissa sama: Tuulennopeus ➔ Dynaaminen paine ➔ Paine rakennuksen vaipalla.

Table 15.2 Calculation formats for velocity, dynamic pressures and building pressure

Code	*Velocity*	*Dynamic pressure*	*Building pressure/force*
ISO4354	$V_{site} = V_{ref} \cdot C_{exp}$	$q_{site} = (1/2)\ \rho\ (V_{site})^2$	$p = q_{site.} C_p \cdot C_{dyn}$
EN 1991-1-4.6	$v_b = c_{dir}\ c_{season} v_{b,o}$	$q_p(z) = c_e(z)\ (1/2)\ \rho\ v_b^2$	$w_e = q_p(z)\ c_{pe}$
ASCE 7	V	$q_z = (1/2)\ \rho\ K_z K_{zt}\ K_d V^2\ I$	$p = q\ (GC_p)$
AIJ	$U_H = U_o K_D E_H k_{rW}$	$q_H = (1/2)\ \rho\ U_H^2$	$W_f = q_H\ C_f\ G_f\ A^a$
AS/NZS1170.2	$V_{sit,\beta} = VM_d M_{(z,cat)}\ M_s\ M_t$	$q_z = (1/2)\ \rho_{air} V_{des,\theta}^2$	$p = q_z\ C_{fig}\ C_{dyn}$

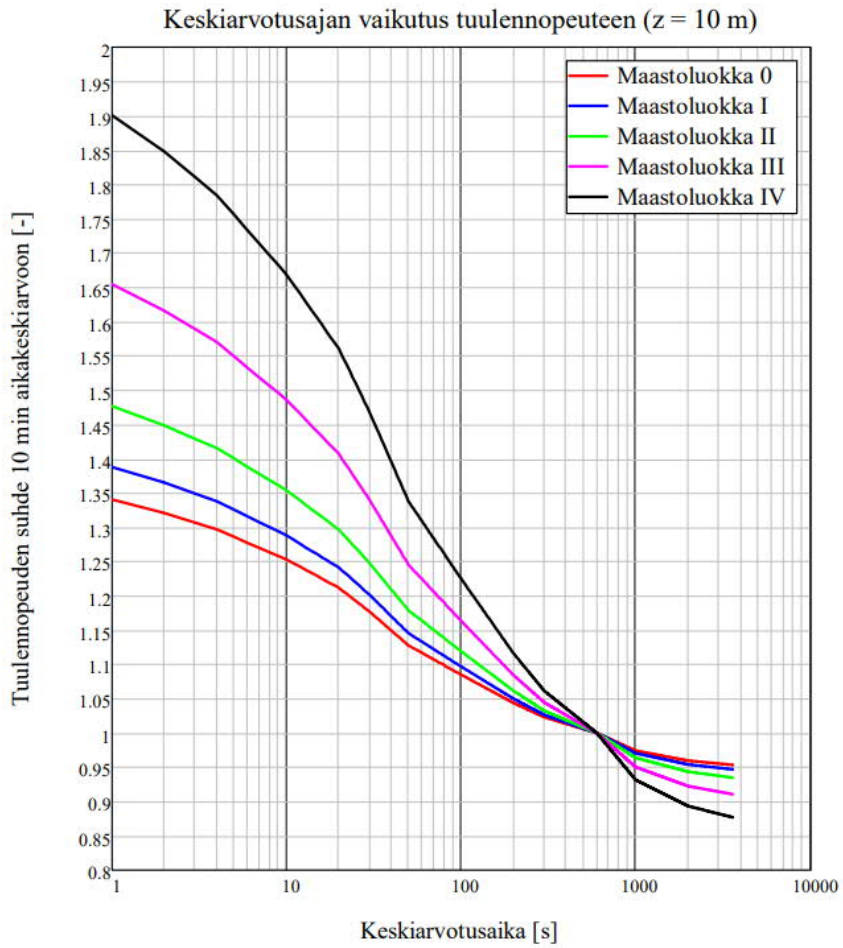
[a]The subscript *f* denotes *D* (for walls) or *R* for roofs in the AIJ.

Holmes J., *Wind Loading of Structures*

- Eri aikakeskiarvoilla mitatut tuulennopeudet voidaan muuntaa vastaamaan toisiaan ns. Durst-käyrillä.

Kerroin Eurokoodin mukaiselle perustuulennopeudelle, jotta se vastaisi 3 s. keskiarvotusaikaa.

1,31 ML 0
1,35 ML I
1,43 ML II
1,59 ML IV
1,81 ML V



Soini J., *Numeerisen virtauslaskennan käyttö tuulikuormien määrittämisessä*

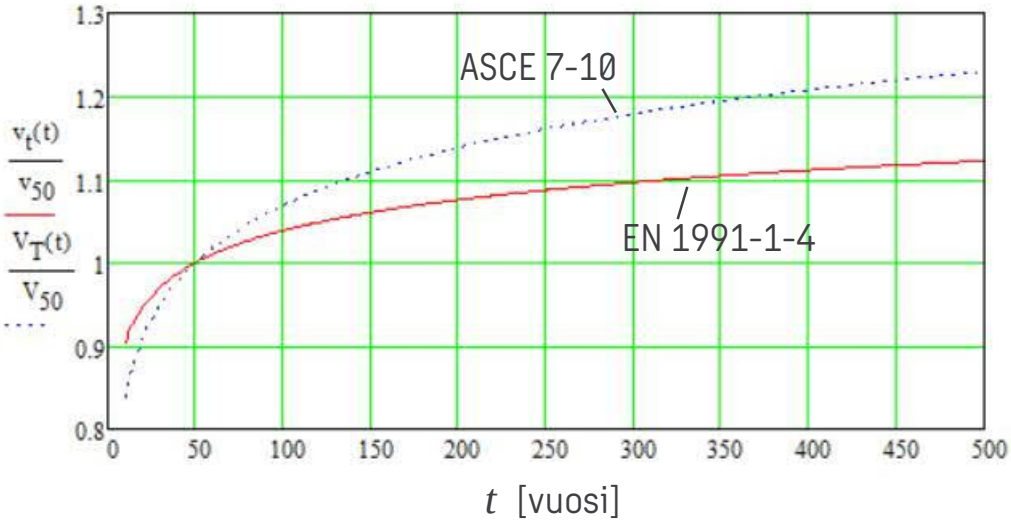
- Toistumisajan muuttamiseksi toiseksi löytyy eurokoodista EN 1991-1-4 ja ASCE 7-10 ohjeistusta.

EN 1991-1-4: Kerroin tuulennopeudelle (10 minuutin keskiarvo, toistumisaika 50 vuotta ja ML II) kun vuotuinen ylittymistodennäköisyys on p (keskimäärisen toistumisajan käänteisluku). Oletusarvot $K = 0{,}2$ ja $n = 0{,}5$.

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0{,}98))} \right)^n$$

ASCE 7 - 10: 3 sekunnin keskiarvoa, 50 vuoden toistumisjaksoa ja maastoluokkaa C vastaavan tuulen nopeuden muuttaminen vastaamaan toista toistumisaikaa.

$$V_T/V_{50} = [0.36 + 0.1\ln(12T)]$$



– Yksi eroa selittävä asia lienee hurrikaanit USA:ssa.

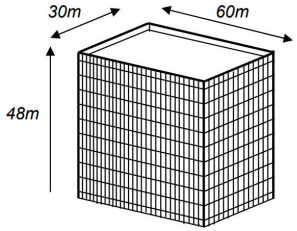
$$\frac{v_t}{v_{50}} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{t}\right)\right)}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0.98))} \right)^n$$

- Tuulikuorman suuruuden lisäksi pitää huomioida kuormitusten yhdistelykerroin.

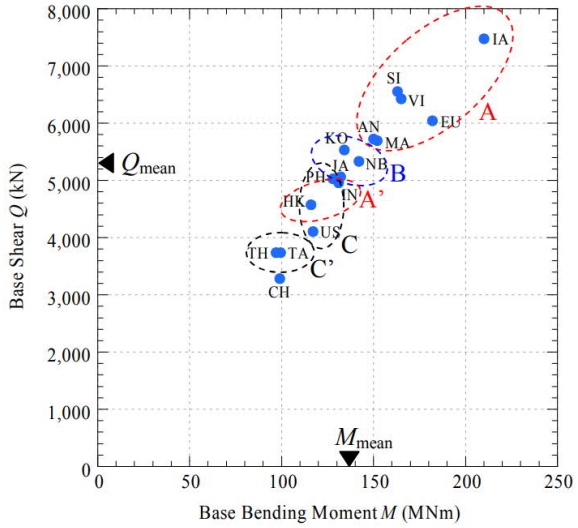
EN 1990	(1,15 … 1, 3) · G + 1,5 · W + …
ASCE 7–16	1,2 · G + 1,0 · W + …
SP20.13330	(1,0 … 1, 3) · G + 1,4 · W + …

- Suunnittelunormit antavat suuruudeltaan erilaisia tuulikuormia samoilla lähtötiedoilla.

Aasialaisten tuulinormien vertailua samoilla lähtötiedoilla (tuulennopeus & maastoluokka).



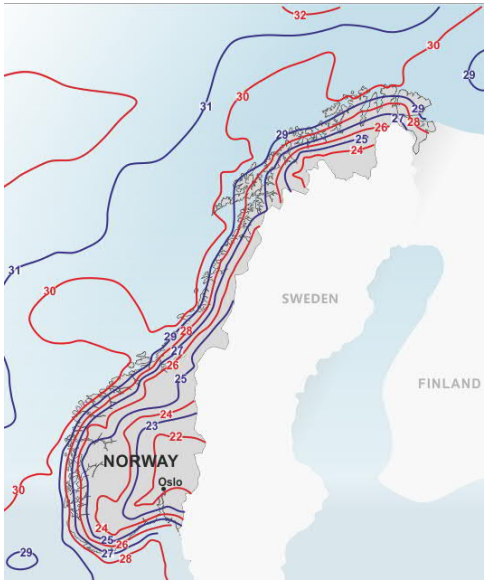
Country/Region		Code/Standard	Base Shear *Q* (kN)	Base Bending Moment *M* (MN.m)
Australia/New Zealand	AN	AS/NZS1170.2: 2002	5,727	150
Canada	NB	NBCC (2005)	5,332	142
China	CH	GB50009-2001	3,282	99
Hong Kong	HK	CP-2004	4,573	116
India	IN	IS875(Part 3)-1987	4,957	131
Indonesia	IA	SNI-03-1727	7,477	210
Japan	JA	AIJ-RLB-2004	5,061	132
Korea	KO	KBC (2005)	5,534	134
Malaysia	MA	MS1553-2002	5,698	152
Philippines	PH	NSCP-2001	5,026	128
Singapore	SI	(draft)	6,556	163
Taiwan	TA	TBC	3,738	100
Thailand	TH	EIT-1018-46	3,737	97
United States	US	ASCE 7-05	4,108	117
Vietnam	VI	TCVN2737-1995	6,423	165
Mean			***5,149***	***136***
Coefficient of Variation (%)			***22***	***22***
Eurocode	EU		6,042	182

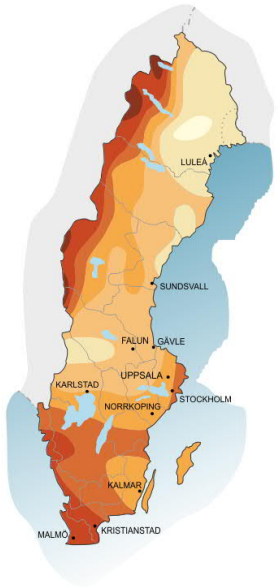


Holmes J., Tamura Y. & Krishna P., Comparison of wind loads calculated by fifteen different codes and standards, for low, medium and high-rise buildings, 11th Americas Conference on Wind Engineering, 2009.

- EN 1991-1-4 määrittelee tuulikuorman periaatteessa samalla tavalla kaikissa mukana olevissa maissa, mutta perustuulennopeus $v_{b,0}$ ja monet muut parametrit ovat kansallisesti valittavissa.

➡ Tuulikuorman suuruudessa on (epäloogista) vaihtelua eri maiden rajoilla.





Zonas	$v_{b,0}$ [m/s]
1	21
2	22
3	23
4	24
5	25
6	26
7	> 26

Perustuulennopeus $v_{b,0}$ kolmen valtakunnan rajapyykillä 21 m/s, 23 m/s tai ehkä 24 m/s.

- Suomesta poiketen joissakin eurokoodimaissa huomioidaan rakennuspaikan korkeus merenpinnasta.

Norja $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot c_{alt} \cdot c_{prob} \cdot v_{b,0}$

$$c_{alt} = \begin{cases} 1{,}0\,;\ \text{for}\ v_{b.0} \geq v_0 \\ 1{,}0 + \dfrac{(v_0 - v_{b,0}) \cdot (H - H_0)}{v_{b,0} \cdot (H_{topp} - H_0)}\,; \quad \text{for}\ v_{b.0} < v_0 \end{cases}$$

Kolmen valtakunnan rajapyykin tienoilla c_{alt} = 1,0.

- Amerikkalainen ASCE 7 määrittelee kuormitukset ja kuormitusyhdistelyt.
- Teräsrakenteiden mitoitus tehdään AISCin standardien mukaan.
- ASCE 7 on monen muunkin maan normien mallina (esim. Indonesia ja Etelä-Korea).
- Viimeisin julkaistu versio on ASCE 7 - 16 ja versio -22 on kehitteillä.

- Versioiden ASCE 7-05 ja ASCE 7-10 välillä on tapahtunut merkittävä muutos tuulikuormien määrittelyssä, mikä ei ole kuitenkaan vaikuttanut tuulikuorman merkittävyyteen.

ASCE 7 – 05:

- Tuulikuorman yhdistelykerroin 1,6.
- 3 s. puuska ja 50 v. toistumisaika.
- Importance factor I mukana.

ASCE 7 – 10:

- Tuulikuorman yhdistelykerroin 1,0.
- 3 s. puuska ja 300/700/1700 vuoden toistumisaika.
- Importance factor I sisällytetty tuulennopeuden karttoihin.

➡ Ei saa käyttää version -05 tuulennopeutta ja -10 (tai -16) yhdistelykerrointa !

- Venäläisessä standardissa SP20.13330 vuodelta 2016 määritellään tuulenpaine w_0 maantieteellisen sijainnin perusteella.

Таблица 11.1

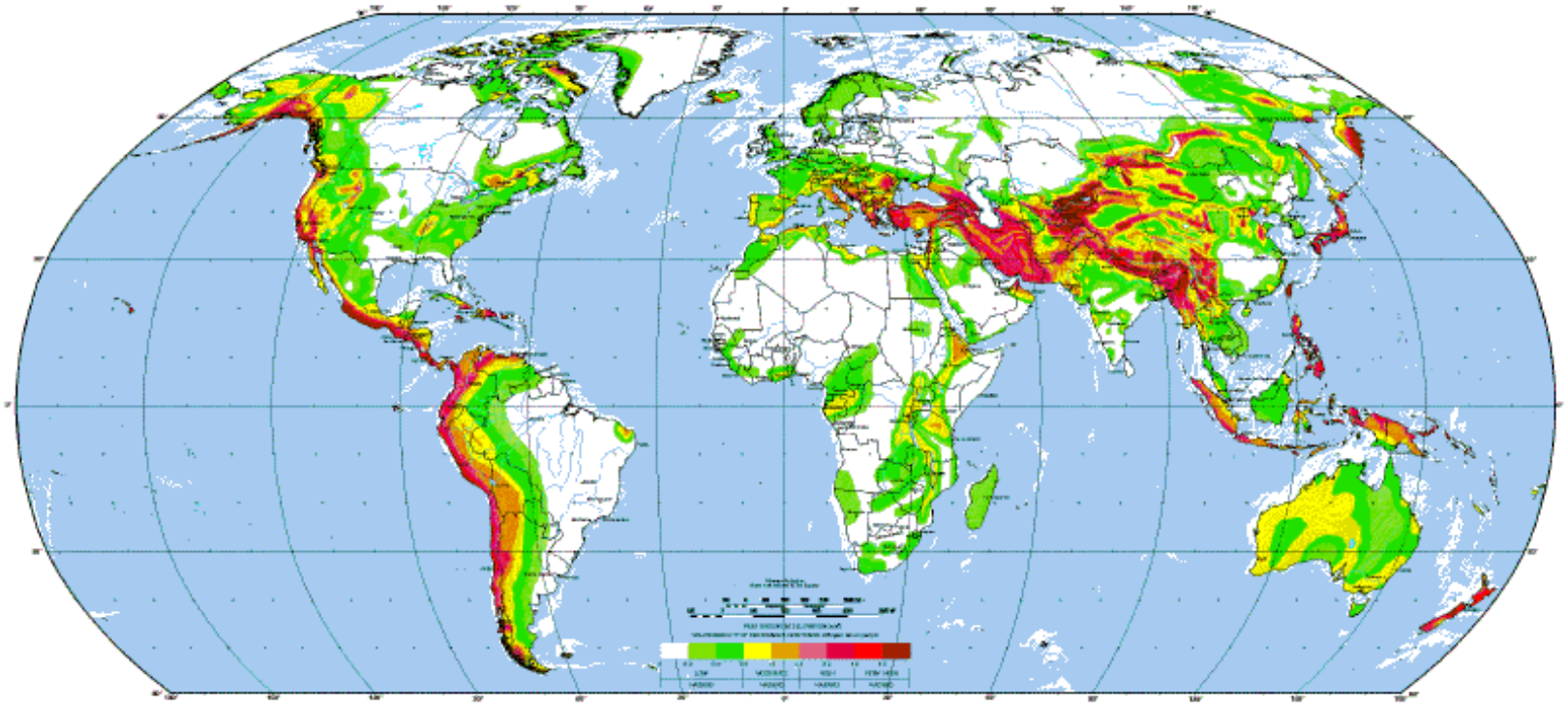
Ветровые районы (принимаются по карте 2 приложения Е)	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0, кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

- Tuulikuorma Suomen lähialueilla sisämaassa on pienehkö (alueet I, II ja III) verrattuna eurokoodin Suomen NA:n arvoihin.

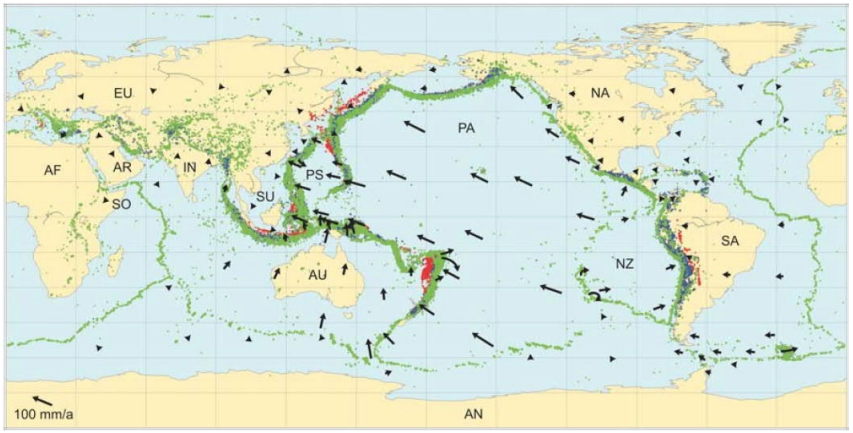
3. Maanjäristys

- Maaperän seisminen aktiivisuus vaihtelee selvästi eri puolilla maapalloa.

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



- Valtaosa maanjäristyksistä sattuu mannerlaattojen reuna-alueilla.
- Tyynen valtameren reuna-alueilla vapautuu 70 - 90 % maapallon seismisestä energiasta.
- Tuhoisia järistyksiä sattuu myös mannerlaattojen sisäosien heikkouskohdissa (esim. Kiina).



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

- Maanjäristykset voivat aiheuttaa äkkinäisen valtavan inhimillisen ja taloudellista tuhon.

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

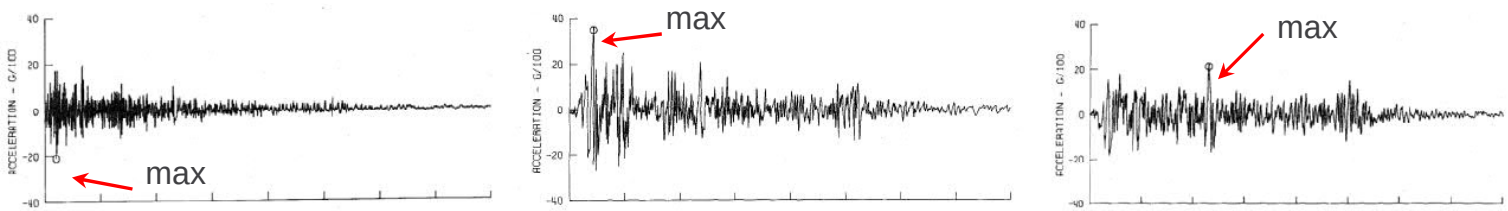
Taulukossa huomioitu vuoden 1950 jälkeiset maanjäristykset.

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.

- Valtaosa henkilövahingoista johtuu rakennusten sortumisesta (pois lukien tsunami) !

- Maanjäristyksen suuruutta (tai mahdollista voimakkuutta) voidaan kuvata *magnitudilla*, *intensiteetillä* ja kallioperän *maksimi vaakakiihtyvyydellä* (PGA, peak ground acceleration).
- Rakennesuunnittelun kannalta tärkein parametri on kallioperän kiihtyvyys (m/s^2).
- Maanjäristyksessä maaperän kiihtyvyys on erilainen eri suuntiin.



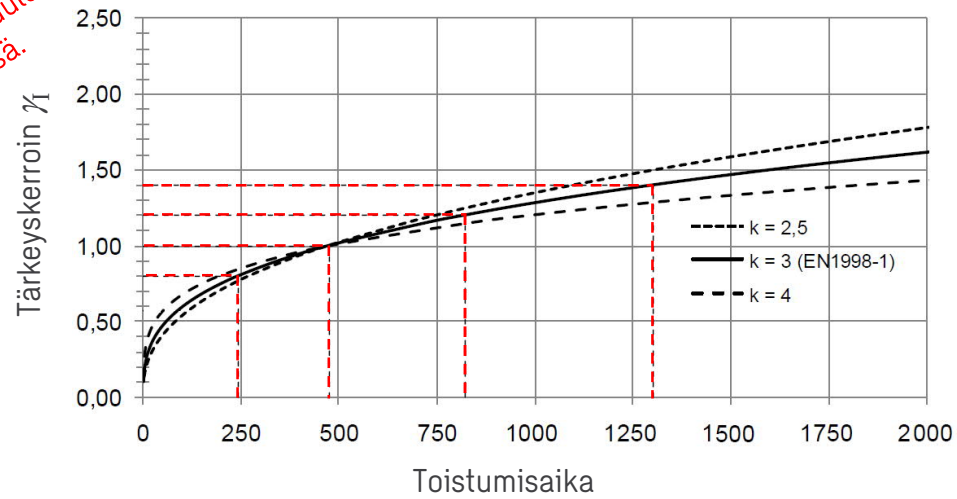
- Rakennusten kannalta vaakasuunta on merkittävämpi kuin pystysuunta.
- Maanjäristysmitoitusta tarvitaan, kun kohteessa sovellettava suunnittelunormi sitä vaatii.
- <u>Alustavasti</u> maanjäristysmitoituksen tarvetta voidaan arvioida PGA-arvon perusteella.
  - $a_g \leq 0{,}08g$ ⇔ alhainen seismisyys } ei tarvita
  - $0{,}08g < a_g \leq 0{,}24g$ ⇔ kohtuullinen seismisyys } tarvitaan
  - $a_g > 0{,}24g$ ⇔ korkea seismisyys } tarvitaan

- 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.

- PGA-arvon suuruutta a_g jollakin toisella toistumisajalla T voidaan arvioida yksinkertaisella kaavalla (a_{gR} ja T_R referenssiarvot).

$$\gamma_I = \frac{a_g}{a_{gR}} = \left(\frac{T}{T_R}\right)^{\frac{1}{k}}$$

Vertaa käyriin tuulen yhteydessä.



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

  - Eurokoodin tärkeyskertoimen γ_I tulkitaan muuttavan todennäköisyyttä / toistumisväliä.

- Parametrin k arvo riippuu tarkastelutilanteesta.
  - Eurokoodin oletus on $k = 3$.
  - Lubkowski Z., Deriving the Seismic Action for Alternative Return Periods According to Eurocode 8, 14th European Conference on Earthquake Engineering, 2010.

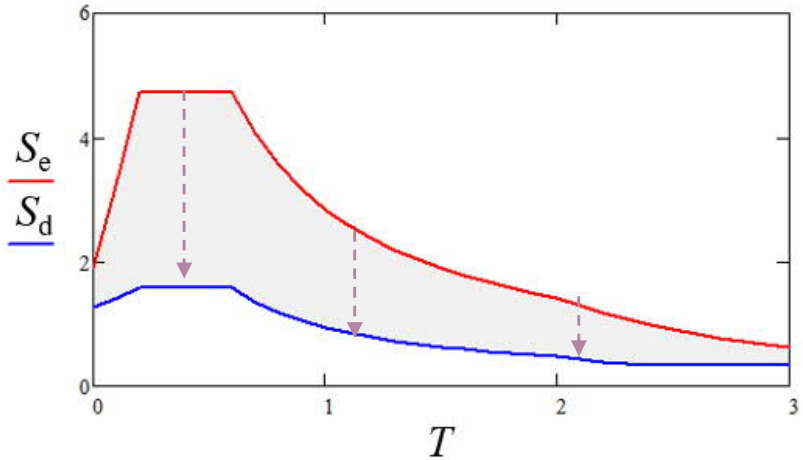
PGA (475 a)	$0{,}05g$	$0{,}10g$	$0{,}20g$	$0{,}30g$	$0{,}40g$
k	0,45	0,435	0,40	0,35	0,30

- ASCE 7:ssä ei käytetä PGA-arvoa, vaan seismisyyden tason ilmoittavat parametrit S_S ja S_1, jotka liittyvät ”lyhyen” ja yhden sekunnin värähdysaikojen mukaisiin spektriarvoihin.
  - ASCE 7:n todennäköisyys (MCE, maximum considered earthquake) on 2 % seuraavan 50 vuoden aikana eli keskimäärin 2475 vuoden toistumisväli ja maaperänä Site Class B (firm rock).
  - Arvoja redusoidaan kertoimella 2/3, jotta saadaan DBE (design basis earthquake) tason arvot.

➡ ASCE 7:ssa huomattavasti harvemmin toistuva maanjäristys kuin eurokoodissa.

- Seismisyyden tason (PGA tai S_S & S_1), maaperän tyypin, rakenteen tärkeyden ja vaimennuksen perusteella saadaan kiihtyvyysspektri $S_e(T)$.

- Rakenteen ominaisuuksien (sitkeys) perusteella spektri redusoidaan suunnitteluspektriksi $S_d(T)$.



- Jakajana käytetyt q (eurokoodin käyttäytymiskerroin) ja R (ASCE 7:n response modification factor) ovat samanlaisille rakenteille selvästi eri suuria.

  Esim. keskeisillä vinositeillä jäykistetty teräsrakenne.

  – Eurokoodi $q = 4$.
  – ASCE 7 $R = 6$ (SCBF, special concentrically braced frames).

- q:n ja R:n erot johtuvat erilaisesta seismisyyden todennäköisyydestä ja myös tarkasteltavat mitoitustilanteet ovat erilaisia.

- Yhdistelykeroimet eurokoodi vs. ASCE 7.

EN 1990	$G + E + \ldots$
ASCE 7–16	$1{,}2 \cdot G + E + \ldots$
	$0{,}9 \cdot G - E_v + E_h$

- ASCE 7:n tapa määritellä maanjäristyskuormat on käytössä monessa muussakin maassa.
- Eurokoodissa tapahtuu PGA-arvoissa epäloogisia hyppäyksiä maiden välisillä rajoilla.

Bulgaria a_{gR} = 1,08 m/s²

Serbia a_{gR} = 1,47 m/s².

Romania a_{gR} = 1,18 m/s².

3. Lumi

- Lumikuormat keskittyvät pohjoisille (hyvin eteläisille) tai vuoristoisille alueille.

- Rakennesuunnittelussa kiinnostaa maksimi lumikuorma, ei niinkään yleinen lumisuus.

- Lumikuorma vaikuttaa välillisesti myös maanjäristyskuorman suuruuteen seismisen massan kautta.

- Rakennesuunnittelussa käytettävän lumikuorman määritelmä (eurokoodi, ASCE 7) on kerran 50 vuodessa toistuva lumimäärä maassa.

- Venäläisessä standardissa SP20.13330 annetaan poikkeuksellisesti lumikuorman suunnitteluarvo, ei ominaisarvoa.

- Vuoristoisilla alueille lumikuorma voi olla merkittävästi suurempi ylempänä vuorilla kuin mitä se on vieressä lähempänä merenpinnan tasoa.

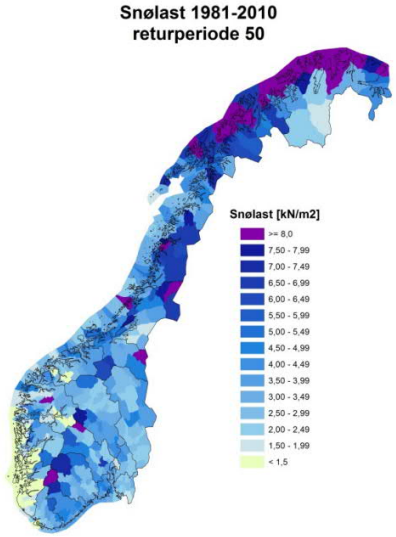
Norja

$$s_{\mathrm{k}} = s_{\mathrm{k0}} + n\Delta s_{\mathrm{k}} \leq s_{\mathrm{k,maks}}$$

s_{k0}, H_{g} ja $s_{\mathrm{k,maks}}$ kuntakohtaisia arvoja

$$n = \frac{H - H_g}{100}$$

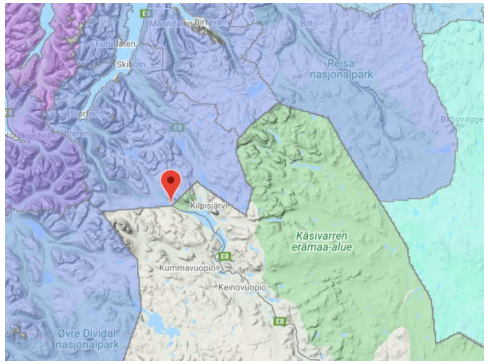
Toteutuneita lumikuorman arvoja.

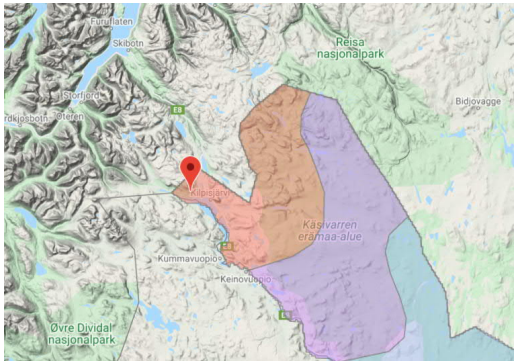


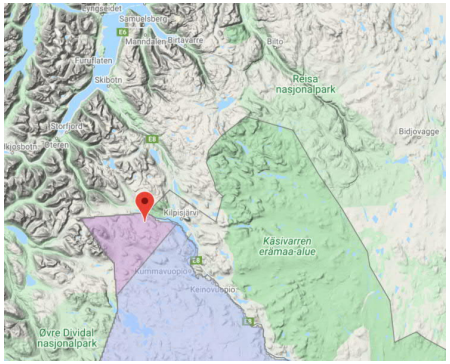
Figur 4.1 b
Maks snølast på mark med returperiode 50 år basert på normalperioden 1981-2010

SINTEF, Klima -og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge, 2013.

- Lumikuorma kolmen valtakunnan rajapyykillä.







Norja s_{k0} = 5,0 kN/m^2

Suomi s_k = 3,5 kN/m^2

Ruotsi s_k = 3,5 kN/m^2

H = 500 m

s_k = 8,5 kN/m^2

5. Yhteenveto

- Suomessa ei enää riitä, että osaamme suunnitella teräsrakenteita kotimaan olosuhteisiin.

- Luonnonkuormien suuruudet vaihtelevat eri maissa.
    1. Ilmasto ja maaperän seismisyyden taso vaihtelevat maapallolla.
    2. Normien mitoituksessa edellyttämä taso luonnonkuormille vaihtelee.

- Normit määrittelevät luonnonkuormia toisistaan poikkeavalla tavalla.

- Eri normien yhdistelyssä (normisurffauksessa) pitää olla varovainen.

SWECO