



Puuvälipohjan värähtelymitoitus

Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018

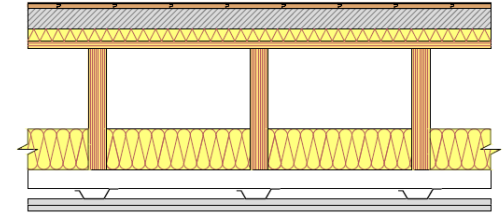
Moduuli 5

Tero Lahtela

Välipohjan värähtely

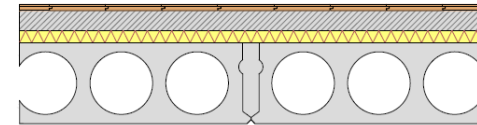
TYYPILLISET VÄRÄHTELYN AIHEUTTAJAT

- Kävely (yleisin)
- Pyykinpesukone
- Liikennetärinä



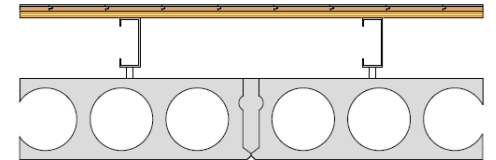
VÄRÄHTELYN AISTIMINEN

- Kehon tuntemuksina (herkin alue 4...8 Hz)
- Kasvien lehtien ja esineiden heilumisena
- Astioiden ja esineiden aiheuttamina ääniä
- Yleensä kävelijä ei itse tunne aiheuttamaansa värähtelyä
- Yleensä värähtelyn aistii parhaiten istuva henkilö



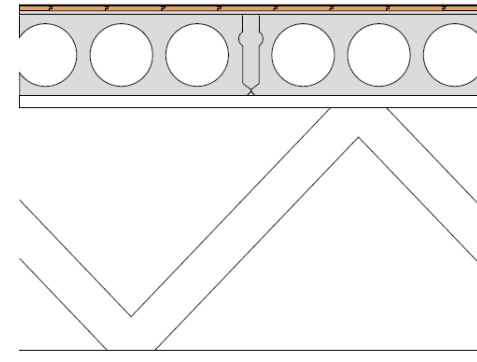
VÄRÄHTELYMITOITUKSESSA TARKASTELTAVAT ILMIÖT

- Lattian tärinä (resonanssi)
- Lattian notkuminen (taipuma)



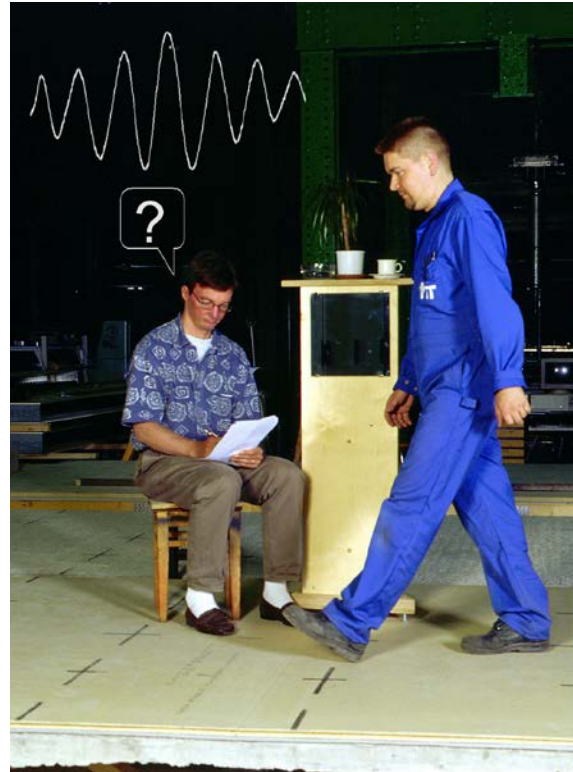
VÄRÄHTELY TULEE TUTKIA

- Kevyissä välipohjissa (puu, teräs)
- Liittorakenteissa
- Kelluvissa lattioissa
- Korokelattioissa

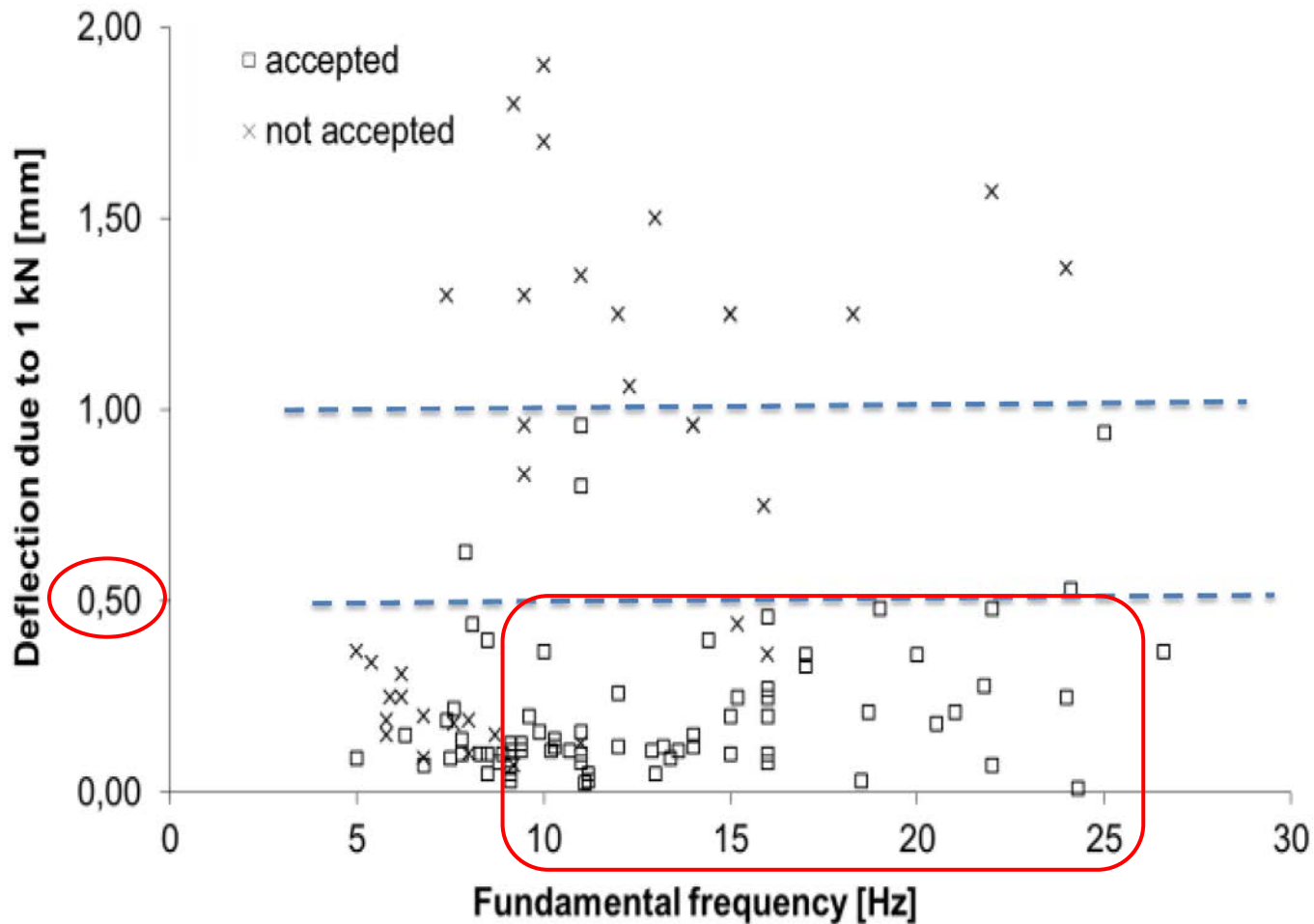


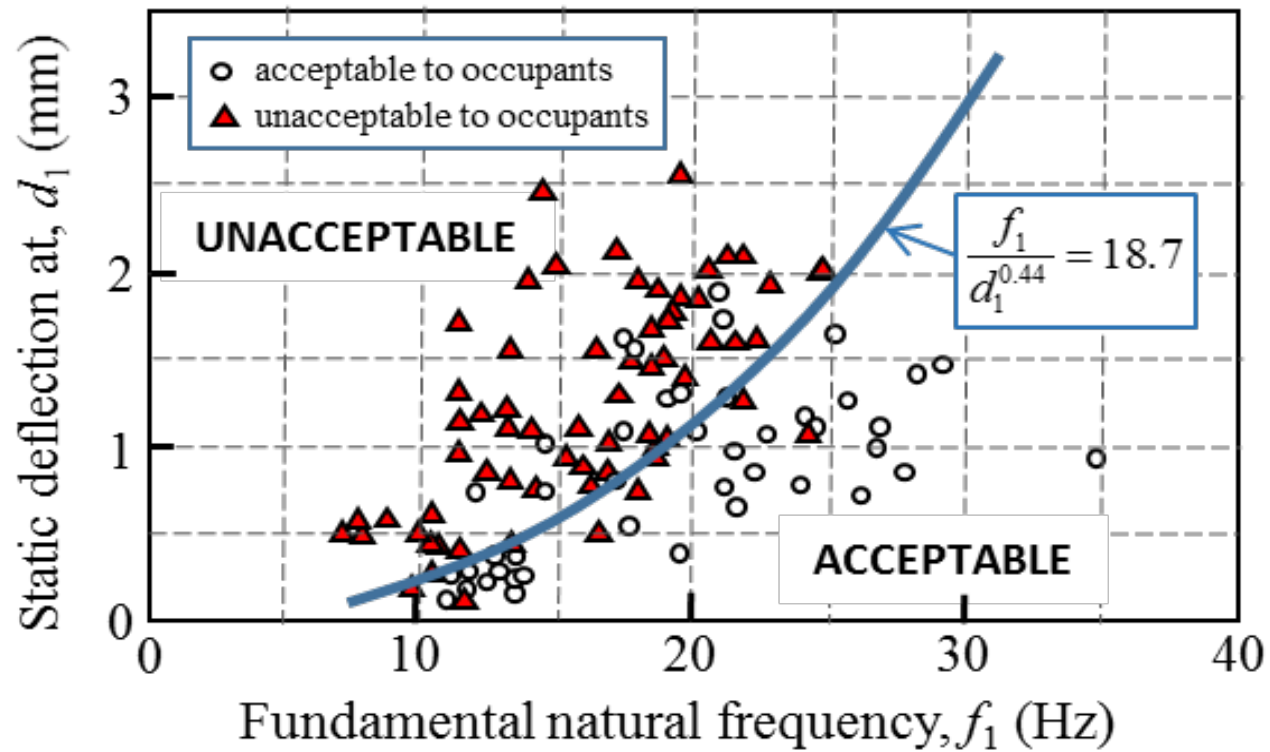
Värähtelymitoituksen raja-arvot

- Raja-arvojen määrittäminen vaikeaa, koska värähtelyn häiritsevyys on henkilökohtainen kokemus
- Maailmalla tehty paljon tutkimusta
- Eri maissa erilaiset raja-arvot
- EC 5 ei anna suoraa vastausta
- Kansallinen liite määrittelee



Tutkimustuloksia





2000-luvun alussa

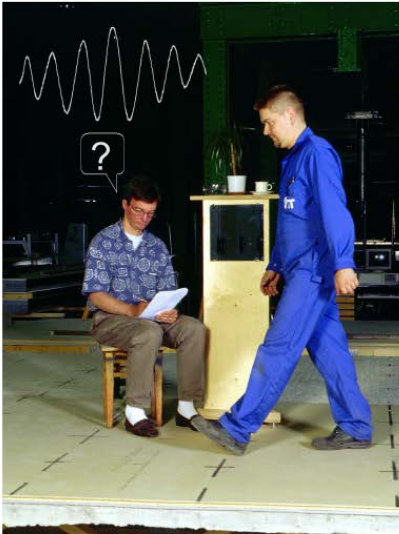
2124
VTT TIEDOTTEITA

VTT TIEDOTTEITA

Asko Talja, Tomi Toratti, Erkki Järvinen

Lattioiden värähtelyt

Suunnittelu ja kokeellinen arviointi





VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS

ESPOO 2002

Taulukko 1. Kuvaus mahdollisesta värähtelyn voimakkuudesta eri värähtelyluokissa.

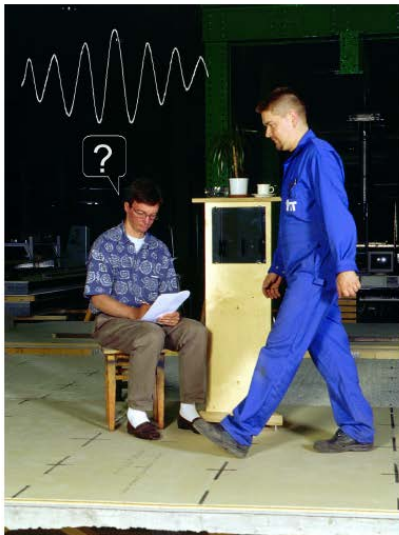
Värähtelyiden aistittavuus kehon tunte- muksen perusteella	Värähtelyiden aistittavuus esineisiin synty- vän värähtelyn perusteella
A Värähtely ei ole yleensä havaitta- vissa.	1 Astioiden kilinää ja kasvin lehtien heilumista ei yleensä esiinny.
B Värähtely on juuri havaittavaa.	2 Astioiden kilinää ei yleensä esiinny ja kasvin lehtien heiluminen on juuri havaittavaa.
C Värähtely on havaittavaa.	3 Astioiden kilinä on juuri havaittavaa. Kasvin lehtien heiluminen on ha- vaittavaa.
D Värähtely on selvästi havaittavaa.	4 Astioiden kilinä ja kasvin lehtien heiluminen on selvästi havaittavaa.
E Värähtely on voimakasta.	5 Astioiden kilinä ja kasvin lehtien heiluminen on voimakasta.

Taulukko 2. Esimerkkejä värähtelyluokkien soveltamisesta.

Lattian väräh- telyluokka	Sovelluskohde
A1	Normaaliluokka huoneistosta toiseen siirtyville värähtelyille. Erikoisluokka, kun värähtelyn aiheuttaja on samassa huoneistossa.
B2	Alempi luokka huoneistosta toiseen siirtyville värähtelyille. Ylempi luokka asuin- ja toimistorakennuksille, kun värähtelyn ai- heuttaja on samassa huoneistossa.
C3	Normaaliluokka asuin- ja toimistorakennuksille, kun värähtelyn ai- heuttaja on samassa huoneistossa.
D4	Alempi luokka asuinrakennuksille, kun värähtelyn aiheuttaja on sa- massa huoneistossa. Esim. omakotitalojen ullakot tai vapaa-ajan asunnot.
E5	Luokka, jolle ei aseteta rajoituksia.

Asko Talja, Tomi Toratti, Erkki Järvinen

Lattioiden värähtelyt Suunnittelu ja kokeellinen arviointi

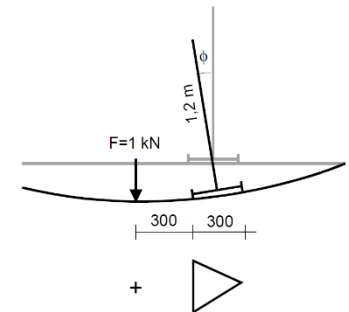
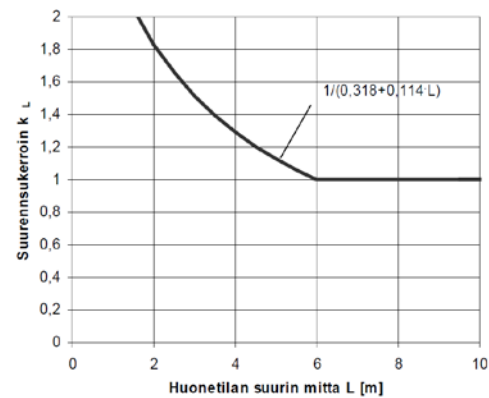


VALTION TEKNIINEN TUTKIMUSKESKUS

ESPOO 2002

Taulukko 3. Laskennassa käytettävät raja-arvot.

Matalataajuuksiset lattiat		Korkcataajuuksiset lattiat, korotuslattiat ja kelluvat lattiat		Kaikki lattiat	
Kiihtyvyysehto		Taipumaehto		Kallistumaehto	
Luokka	$3 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 10 \text{ Hz}$	Luokka	$f_0 > 10 \text{ Hz}$	Luokka	
A	$a \leq 0,03 \text{ m/s}^2$	A	$\delta \leq 0,12 \text{ mm}$	1	$\phi \leq 0,2 \text{ mm/1,2 m}$
B	$a \leq 0,05 \text{ m/s}^2$	B	$\delta \leq 0,25 \text{ mm}$	2	$\phi \leq 0,4 \text{ mm/1,2 m}$
C	$a \leq 0,075 \text{ m/s}^2$	C	$\delta \leq 0,5 \text{ mm}$	3	$\phi \leq 0,8 \text{ mm/1,2 m}$
D	$a \leq 0,12 \text{ m/s}^2$	D	$\delta \leq 1,0 \text{ mm}$	4	$\phi \leq 1,6 \text{ mm/1,2 m}$
E	$a > 0,12 \text{ m/s}^2$	E	$\delta > 1,0 \text{ mm}$	5	$\phi > 1,6 \text{ mm/1,2 m}$



Taipuman raja-arvot eri maissa

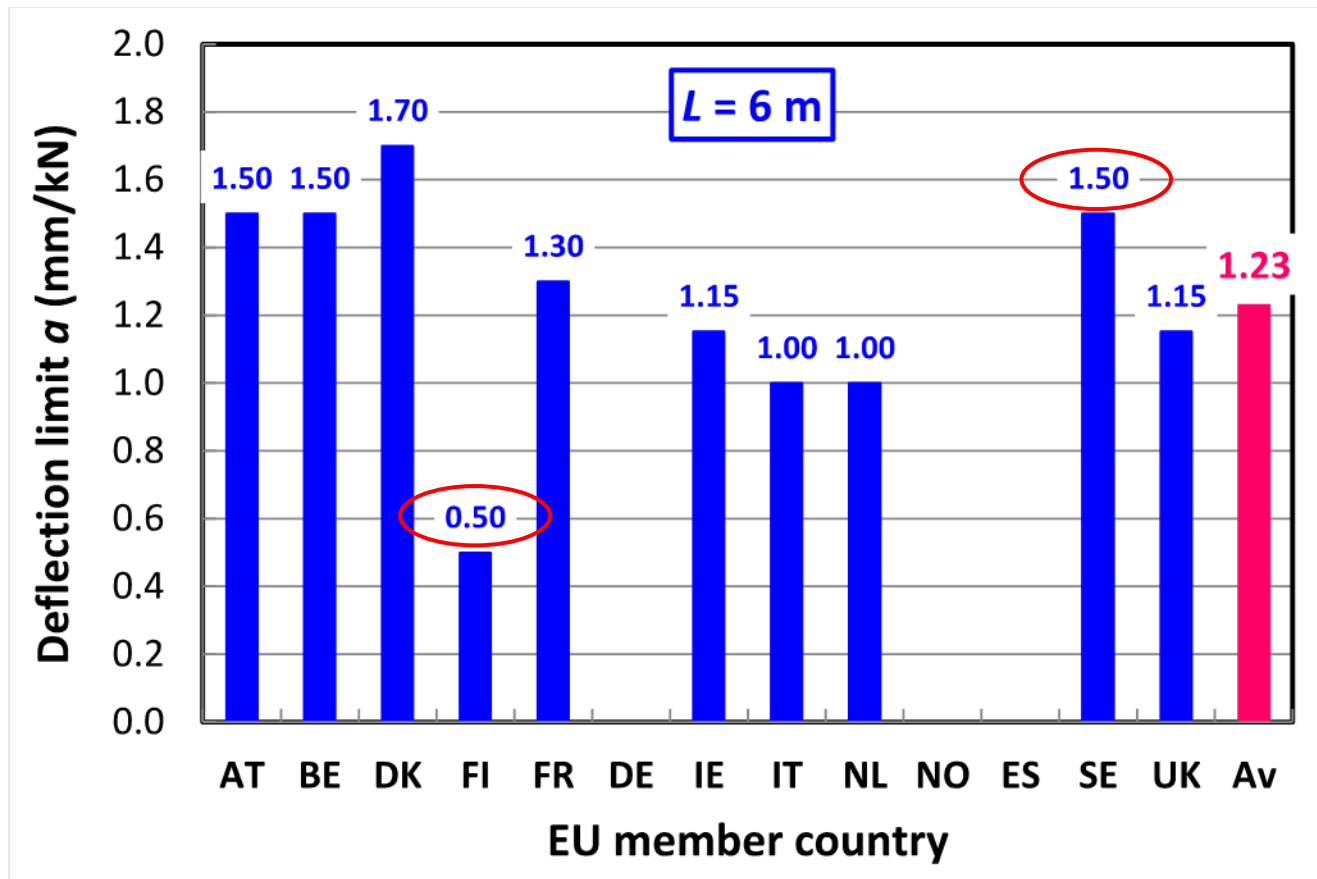
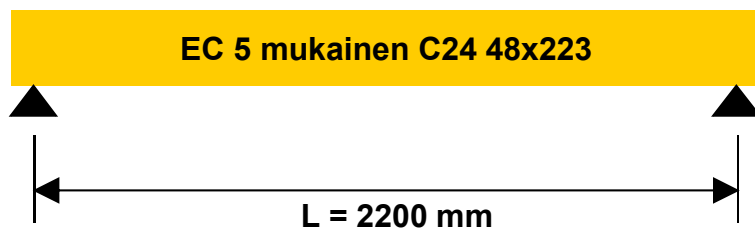
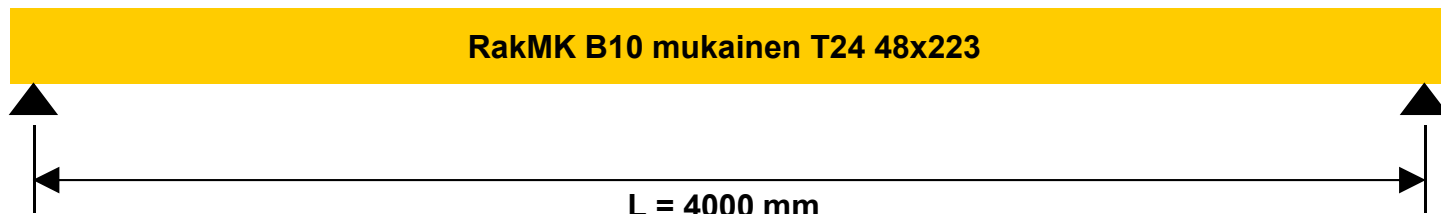
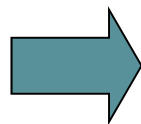


Fig. 4: Deflection limit a in EU countries for $L = 6 \text{ m}$



Sahatavara



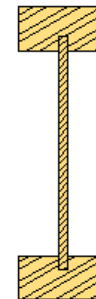
LVL



Liimapuu

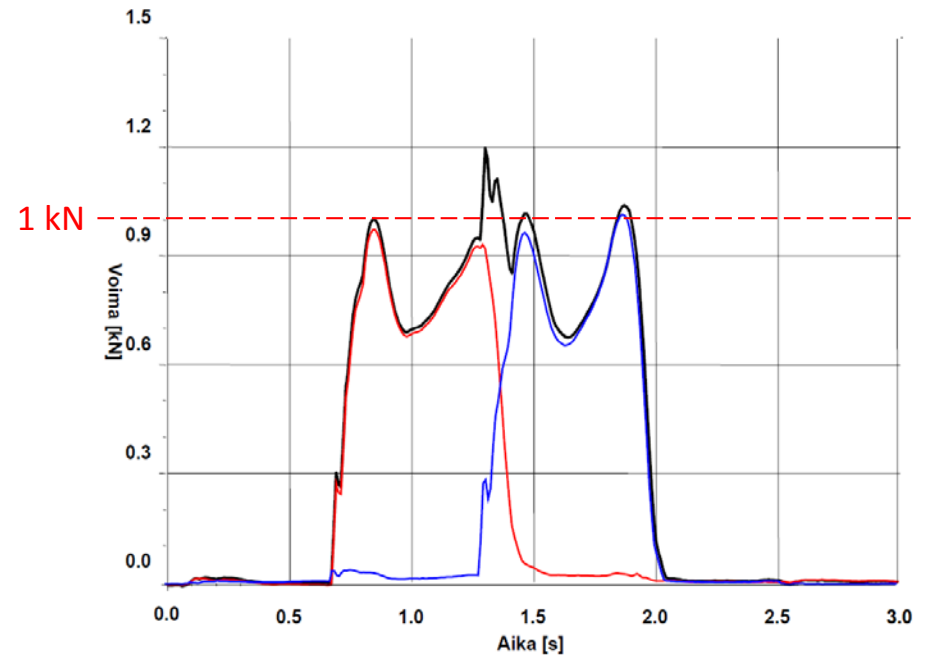
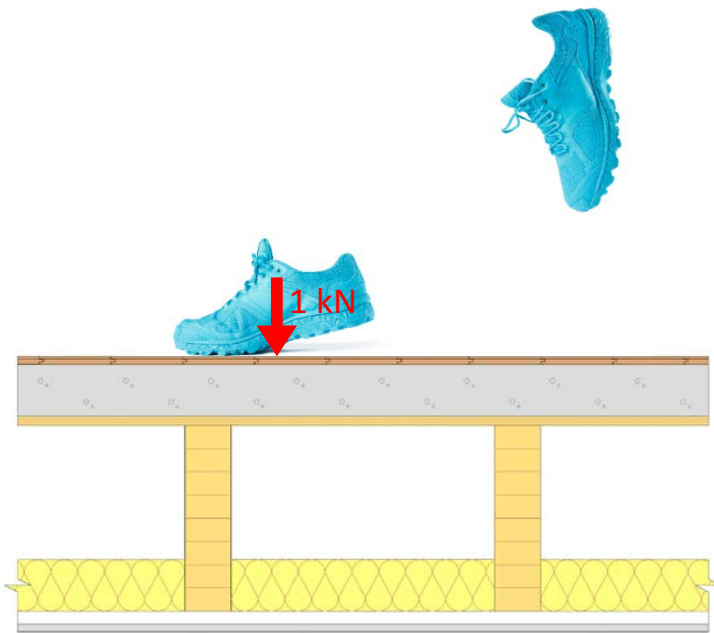


I-palkit



Kävelyn aiheuttamat häiriöt

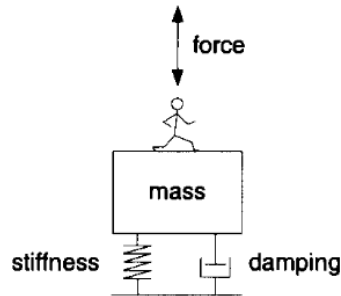
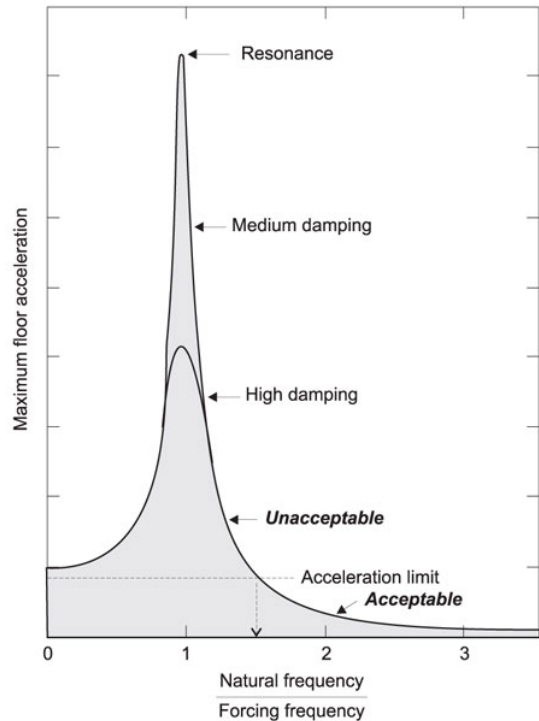
- Kävelyheräte sisältää jaksottaisia ja iskumaisia komponentteja
- Matalin jaksottainen kuormitus kävelytaajuudella 1,6...2,2 Hz
- Kuormituskomponentteja esiintyy myös alueella 3,2...8,8 Hz



Välipohjat jakautuvat kahteen tyyppiin

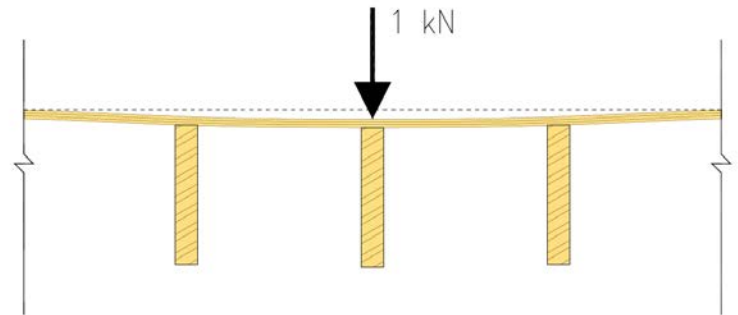
Matalataajuuslattia

- Suuri massa
- Matala ominaistajuus
- Värähtely ominaistajuudella hallitsee
→ resonanssi

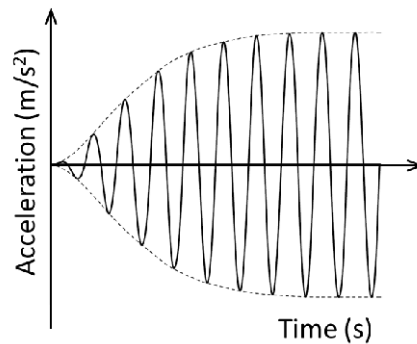
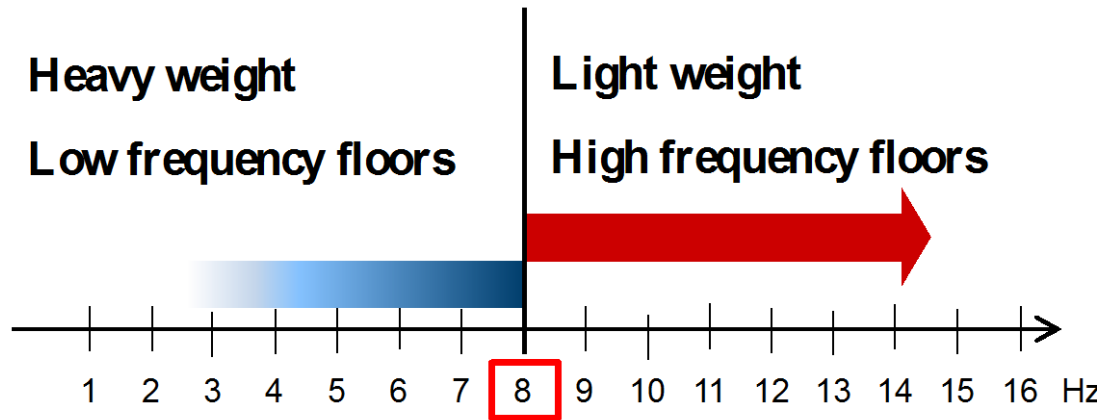


Korkeataajuuslattia

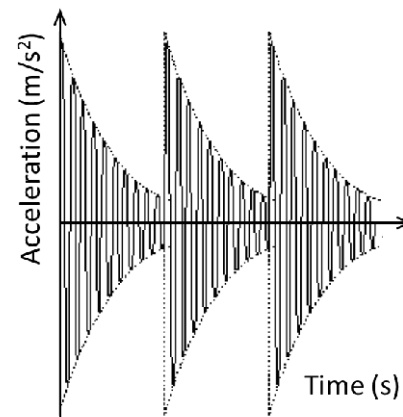
- Pieni massa
- Korkea ominaistajuus
- Kävelykuormituksen aiheuttama taipuma hallitsee



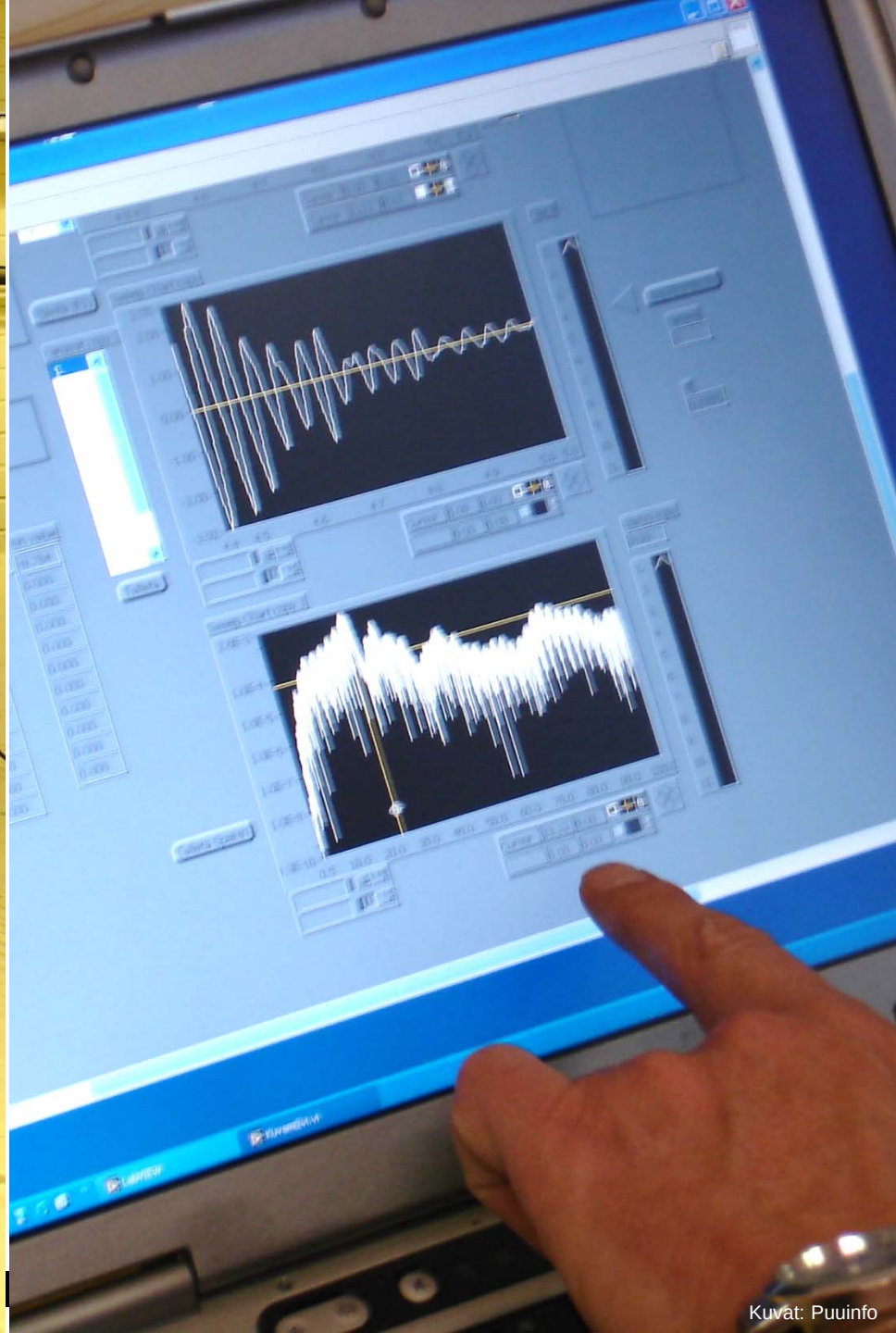
Matalataajuuslattia ja korkeataajuuslattia



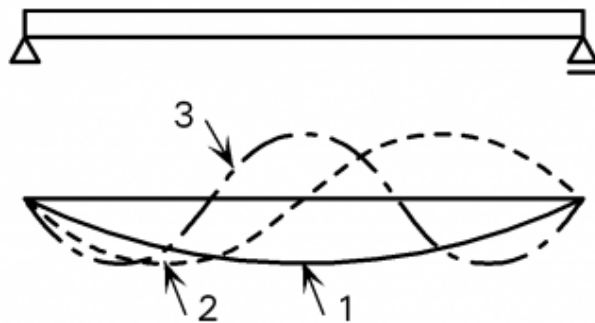
Resonant vibrations



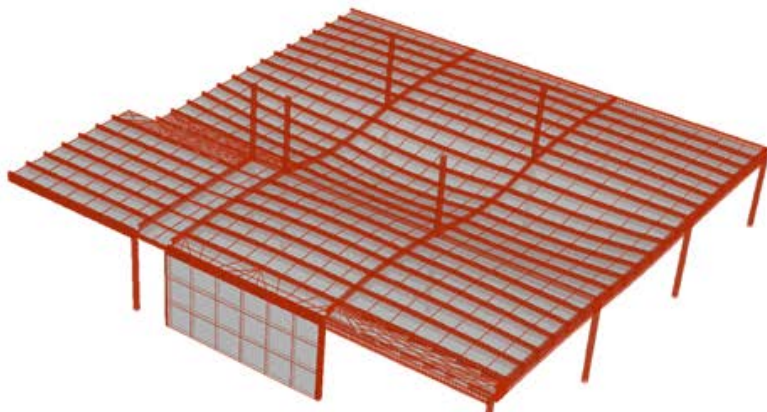
Transient vibrations



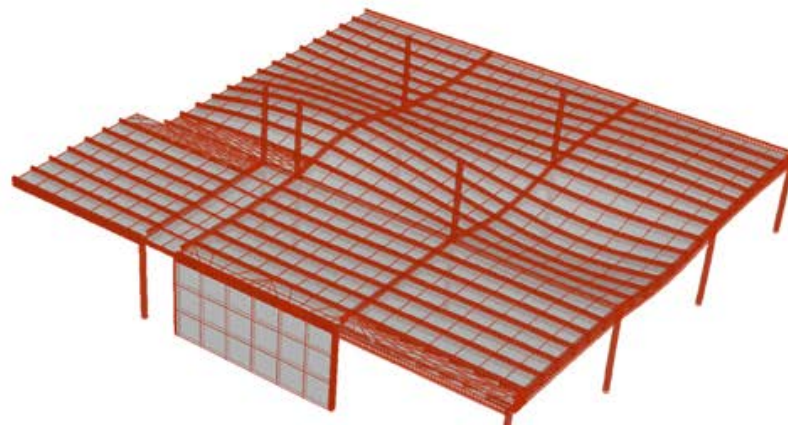
Ominaisuudet

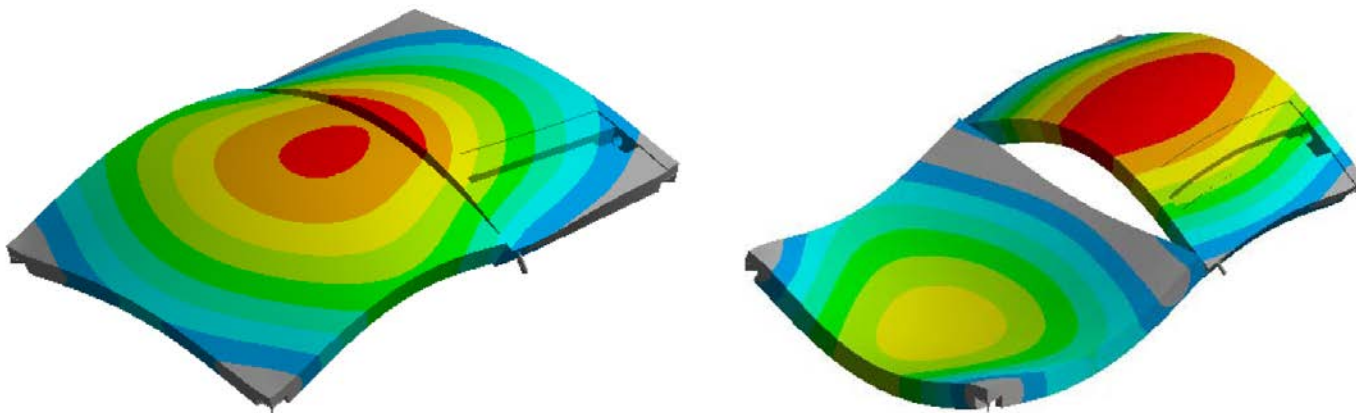


1st Mode: $f_1 = 5.88$ Hz

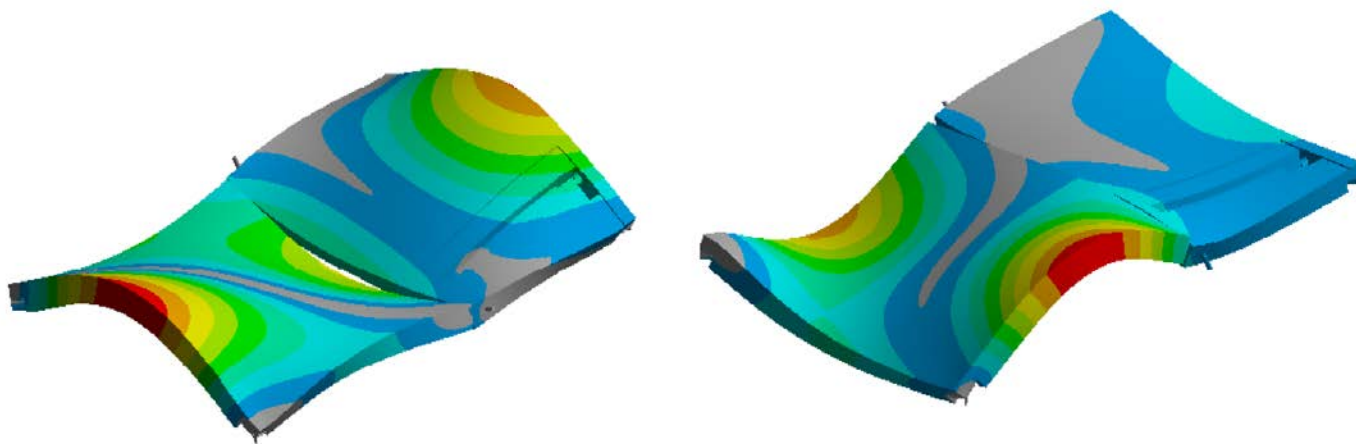


2nd Mode: $f_2 = 7.26$ Hz



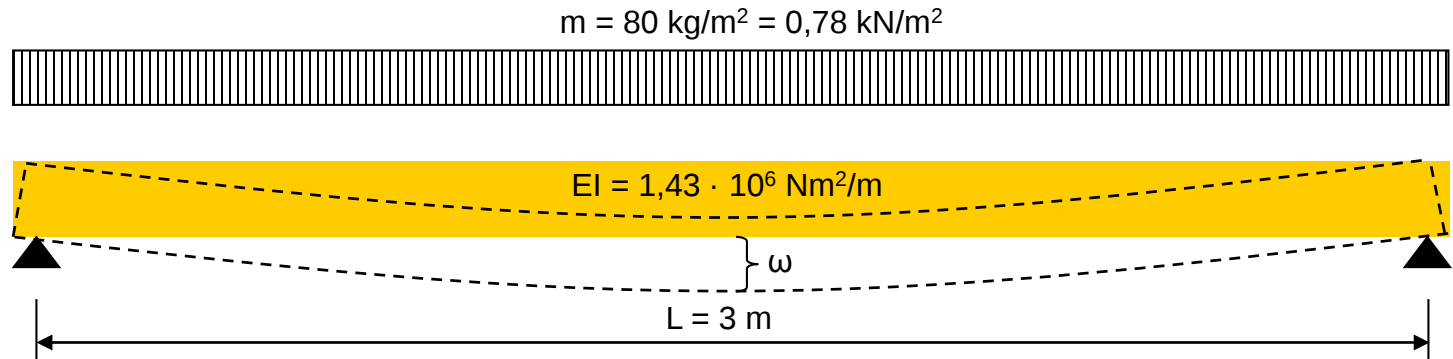


Kuva 5.3. Taajuudet muodoille 1 ja 2, 22.9 Hz (vasen) ja 31.0 Hz (oikea).



Kuva 5.4. Taajudet muodoille 3 ja 4, 42.0 Hz (vasen) ja 43.0 Hz (oikea).

Ominaistaajuus



OMINAISTAAJUUDEN KAAVALLA

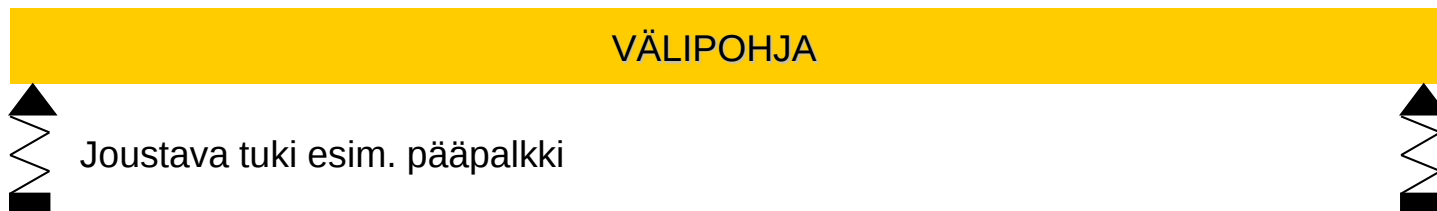
$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 3^2} \cdot \sqrt{\frac{1,43 \cdot 10^6}{80}} = 23 \text{ Hz}$$

TAIPUMAN PERUSTEELLA

$$\omega = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{780 \cdot 3^4}{1,43 \cdot 10^6} = 0,00058 \text{ m} = 0,58 \text{ mm}$$

$$f_1 = 0,18 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{\omega}} = 0,18 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,00058}} = 23 \text{ Hz}$$

Systemin ominaistaajuus



Välipohja

$$f_{1,\ell} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_{\ell}}{m}}$$

Pääpalkki

$$f_{1,L} = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}$$

$(EI)_L$ = pääpalkin ja välipohjan taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden

Systemi

$$f_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{1,\ell}^2} + \frac{1}{f_{1,L}^2}}}$$

HUOMIO!

Tarpeellisuus harkittava
tapauskohtaisesti



Värähtelymitoitus

Ominaistaajuus

Matalataajuuslattia

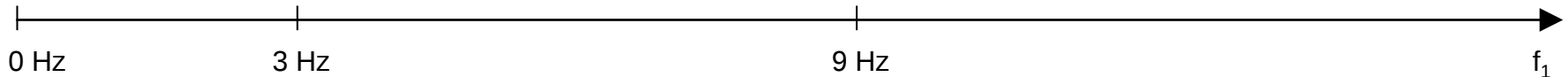
$f_1 < 9 \text{ Hz}$

Erityistarkastelu (kiihtyvyys)

Korkeataajuuslattia

$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$

Taipumatarkastelu



Yhteen suuntaan kantava rakenne

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

Neljä reunaa tuettu

→ painumaton tuki kaikilla reunoilla

Kahteen suuntaan kantava rakenne

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{\ell}{b} \right)^2 + \left(\frac{\ell}{b} \right)^4 \right] \cdot \frac{(EI)_B}{(EI)_\ell}}$$

Elementtirakenteinen ilman pintalaattaa

→ vain yhteen suuntaan kantava

Elementtirakenteinen pintalaatalla

→ yhteen tai kahteen suuntaan kantava

Paikalla rakennettu

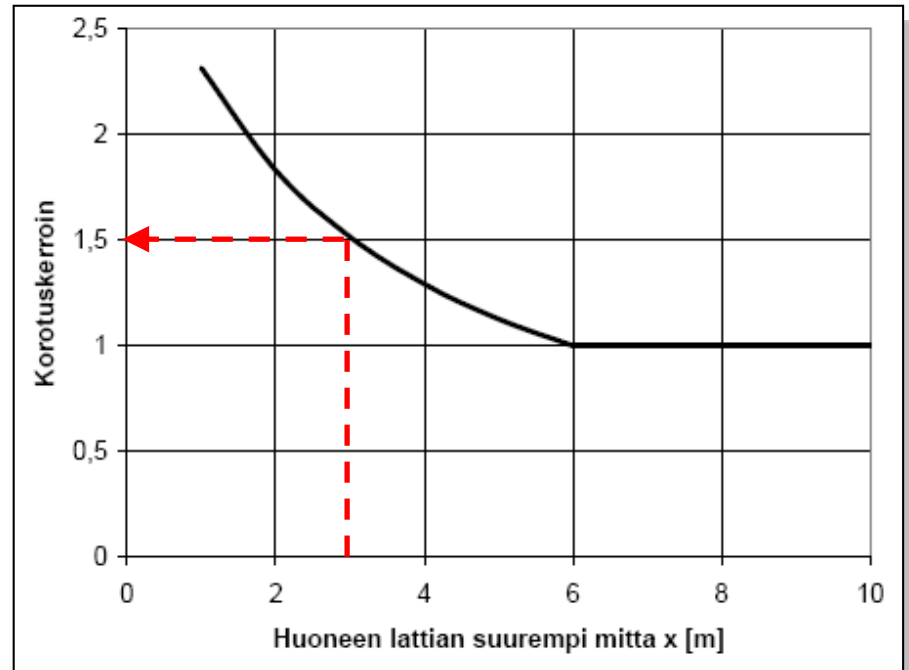
→ yhteen tai kahteen suuntaan kantava

$m = \text{omapaino} [\text{kg/m}^2] + 30 \text{ kg/m}^2$

Värähtelymitoitus

Taipuma

VÄLIPOHJA
Hetkellinen taipuma
1 kN:n kuorma
 $\delta \leq 0,5 \text{ mm}$



$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot \ell^2}{42 \cdot k_{\delta} \cdot (EI)_{\ell}} \\ \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_{\ell}} \end{array} \right.$$
$$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_{\ell}}} \quad k_{\delta} \leq \frac{B}{\ell}$$

Rakenteiden lujuus ja vakaus

Puurakenteet

NCCI 2 standardiin SFS-EN 1995-1-1: Kävelystä aiheutuva lattioiden värähtely

Kävelystä johtuvat värähtelyt otetaan, rakennuksen ja tilan käyttötapa huomioon ottaen, huomioon käyttörajatilamitoituksessa.

Suunnittelussa voidaan käyttää seuraavaa lattioiden värähtelysuunnittelumenetelmää, joka korvaa kokonaisuudessaan standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 7.3.3 täyttäen kaikki siinä esitetyt kriteerit.

Pysyvässä asuinkäytössä olevien asuntojen ja toimistohuoneistojen osalta sovelletaan seuraavia kriteerejä:

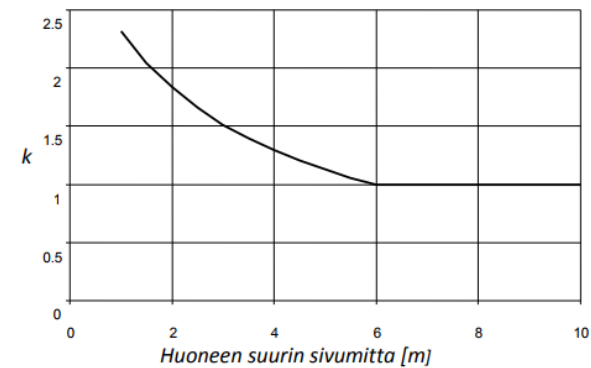
Erityistarkastelu on tarpeen, jos asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistajuuus on alle 9 Hz ($f_1 < 9$ Hz).

Kun asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistajuuus $f_1 > 9$ Hz, tarkistetaan, että seuraava ehto toteutuu:

$$\delta \leq 0,50 \text{ mm}$$

(1.1)

missä δ on 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla. Pienillä huonetiloilla sallittua 0,5 mm:n taipumaa voidaan korottaa kuvan 1 kertoimella k .



Kuva 1. Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k

Rakenteiden lujuus ja vakaus

Puurakenteet

Yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen alin ominaistajuus voidaan laskea lausekkeesta

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (1.2)$$

Kahteen suuntaan kantavan lattiarakenteen alin ominaistajuus voidaan laskea lausekkeesta

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{l}{b} \right)^2 + \left(\frac{l}{b} \right)^4 \right] \cdot \frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (1.3)$$

missä

l on lattiarakenteen jänneväli [m]

b on lattiarakenteen leveys [m]

$(EI)_l$ on lattian kantavaa suuntaa l vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm^2/m]

$(EI)_b$ lattian poikittaissuuntaa b vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm^2/m]

m on lattian oman painon pinta-alayksikköä kohden ja hyötykuormasta osuuden 30 kg/m² yhteen laskettu massa [kg/m²].

Lattiapalkin kohdalla sijaitsevan pistekuorman ($F = 1 \text{ kN}$) aiheuttama lattian painuma voidaan laskea yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen tapauksessa lausekkeesta

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{Fl^2}{42 \cdot k_s \cdot (EI)_l} \\ \frac{Fl^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_l} \end{array} \right. \quad (1.4)$$

missä

s lattiapalkkien välinen etäisyys [m]

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad \text{rajoituksena } k_s < b/l \quad (1.5)$$

Lauseketta (1.4) voidaan käyttää myös neljältä sivulta tuetulle lattialle. Tällöin lausekkeen (1.5) mukaista kerrointa k_s ei tarvitse rajoittaa tekijällä $< b/l$.

Tätä ohjetta voidaan soveltaa sellaisenaan myös kaksi- tai useampiauukoisten jatkuvien lattiapalkkien tai laattojen yhteydessä. Tällöin lattiarakenne ei saa kuitenkaan olla jatkuva eri huoneistojen välillä.

7.3.3 Asuinrakennuksen lattiat

1) Erityistarkastelu, jos lattian alin ominaistajuuus on alle 8 Hz ($f_1 \leq 8 \text{ Hz}$)

2) Jos asuinrakennuksen lattian alin ominaistajuuus on yli 8 Hz ($f_1 > 8 \text{ Hz}$)

MITOITUSEHTO 1

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [\text{mm/kN}]$$

w = hetkellinen taipuma pistekuormasta F

F = 1 kN

a = raja-arvo (kansallinen)

MITOITUSEHTO 2

$$v \leq b^{(f_1 \zeta^{-1})} \quad [\text{m/Ns}^2]$$



Todennäköisesti poistetaan
eurokoodista tulevaisuudessa

v = pystysuoran värähtelyn nopeuden suurin alkuarvo [m/s],

jonka aiheuttaa ideaalinen yksikköimpulssi [1 Ns]

ζ = vaimennussuhde (tavallisesti 0,01 eli 1 %)

f_1 = lattian alin ominaistajuuus

b = raja-arvo (kansallinen)

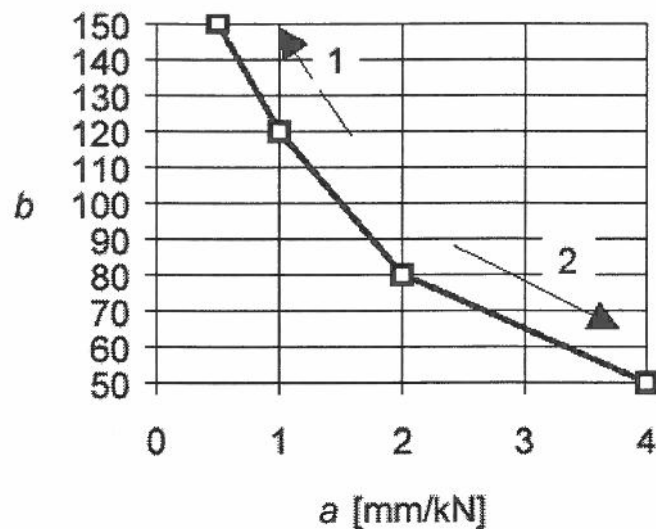
$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200}$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

n_{40} = ominaismuotojen määrä, joita vastaava ominaistajuuus on enintään 40 Hz

HUOM. Taipuman ja nopeusvasteen ylärajaparametrien a ja b suositusalue ja niiden välinen suositeltava yhteys esitetään kuvassa 7.2. Kansallisessa liitteessä voidaan esittää, miten nämä parametrit kansallisesti valitaan.



Selite:

- 1 Parempi toiminta
- 2 Huonompi toiminta

Kuva 7.2 Taipuman ja nopeusvasteen ylärajaparametrien suositusalue ja niiden välinen suositeltava yhteys

Ruotsi



Boverkets konstruktionsregler, EKS 10

Gäller fr.o.m. 1 januari 2016
BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. BFS 2015:6

Boverkets konstruktionsregler, EKS 10
Avdelning G – EN 1995
Kap. 5.1.1 – Tillämpning av SS-EN 1995-1-1

Stycke 6.1.7(2)

Allmänt råd

7 b § För limträ och virke helt eller delvis exponerat för nederbörd och solstrålning bör $k_{cr}=0,67$ användas.

$$\text{För övrigt limträ och virke bör } k_{cr} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,0 \\ f_{v,k} \\ 1,0 \end{array} \right.$$

användas när inverkan av sprickor beaktas. (BFS 2013:10).

Stycke 7.2(2)

8 § Gränsvärden för nedböjning som är relaterade till hälsa och säkerhet bestäms där så erfordras från fall till fall med hänsyn till rådande omständigheter.

Allmänt råd

Gränsvärden med hänsyn till t.ex. utseende och komfort kan anges av byggherren.

Stycke 7.3.3(2)

Allmänt råd

9 § För svenska förhållanden kan följande värden tillämpas: $a = 1,5 \text{ mm/kN}$ och $b = 100 \text{ m/Ns}^2$.

Stycke 8.3.1.2(4)

10 § Stycke 8.3.1.2(4) får inte tillämpas.

Stycke 10.9.2(3)

Allmänt råd

11 § Efter montage och erforderlig stagning bör $\alpha_{bow,perm}$ vara högst 10 mm. (BFS 2013:10).

Stycke 10.9.2(4)

Allmänt råd

12 § $\alpha_{dev,perm}$ bör vara högst den minsta av $0,02 h$ eller 50 mm. h är fackverkets största höjd. (BFS 2013:10).

Välipohjan värähtelymitoitus

Ruotsi

Välipohjan rakenne

- $L = 6000 \text{ mm}$
- $B = 6000 \text{ mm}$
- Havuvaneri 18 mm
- Kerto-S 45x300 k400
- $(EI)_L = 3,49 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$
- $(EI)_B = 4,16 \cdot 10^3 \text{ Nm}^2/\text{m}$
- $m = 81 \text{ kg/m}^2$

Tulokset

- $f_1 = 9 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz}$ OK
- $\delta = 1,3 \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm}$ OK

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \left(\frac{EI}{EI_b} \right) \right\}^{0,25} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{9} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{6}{6} \right)^4 \cdot \frac{3,49 \cdot 10^6}{4,16 \cdot 10^3} \right\}^{0,25} = 11,2$$

$$\nu = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200} = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 11,2)}{81 \cdot 6 \cdot 6 + 200} = 0,009 \text{ m/Ns}^2$$

$$b = 100$$

$$\zeta = 0,01$$

$$\nu \leq b^{f_1 \zeta^{-1}} \text{ [m/Ns}^2\text{]}$$

$$0,009 \text{ m/Ns}^2 \leq 100^{9 \cdot 0,01^{-1}} = 0,015 \text{ m/Ns}^2 \text{ OK}$$

Salonvälipohja		Työn nro.	Blau	Versio 1.3
X		X		1 / 3
Suunnitelma		X	X	
X				Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)

1.0 VÄLIPOHJAN RAKENNE

Palkki: Kerto-S 45x300 Palkkikirjasto
 Pintalaatta: Ei pintalaattaa Levykirjasto
 Kansirakenne: Havuvanerilevy - 18 - 6 ply - (2400) x 1200
 Kansirakenteen toiminta: Ei liittorakennetta
 Poikittaisjäykisteet: Ei jäykisteitä
 Välipohjan tyyppi: Paikalla rakennettu
 Välipohjan reunan tuenta: 2 reunaa tuettu (reunapalkki + kansi + pintalaatta vapaana)

Palkkijako: k = 400 mm Tuplapalkit
 Jänneväli: L = 6000 mm
 Paikalla rakennetun välipohjan leveys: B = 6000 mm
 Huoneen suurin mitta: 6 m

2.0 VÄLIPOHJAN KUORMAT

Omapaino: $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$
 Muuttuva kuorma: $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
 Pintalaatan omapaino: $g_k = 0,0 \text{ kN/m}^2$
 Muuttuvan kuorman pysyvä osuus: 30 kg/m2

3.0 MITOITUSTULOKSET

Ominaistaajuus	Jäykkyyden lisäämisen menetelmät	Taipuma (1 kN)
f_1 9 Hz 99 %	Havuvanerilevy - 18 - 6 ply - (2400) x 1200	δ 1,32 mm 264 %

OK 1 x Kerto-S 45x300 k 400 VIRHE!

Välipohjan värähtelymitoitus

Suomi

Välipohjan rakenne

- $L = 3650 \text{ mm}$
- $B = 6000 \text{ mm}$
- Havuvaneri 18 mm
- Kerto-S 45x300 k400
- $(EI)_L = 3,49 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$
- $(EI)_B = 4,16 \cdot 10^3 \text{ Nm}^2/\text{m}$
- $m = 81 \text{ kg/m}^2$

Tulokset

- $f_1 = 24 \text{ Hz} \geq 9 \text{ Hz}$ OK
- $\delta = 0,49 \text{ mm} \leq 0,5 \text{ mm}$ OK

Version 1.3													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Rakennuskohte</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Työn nro</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">X</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">X</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Suunnittelija</td> <td style="padding: 5px;">Päiväys</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">X</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Touku</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">X</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">X</td> </tr> </table>	Rakennuskohte	Työn nro	X	X	Suunnittelija	Päiväys	X	Touku		X		X	1 / 3
Rakennuskohte	Työn nro												
X	X												
Suunnittelija	Päiväys												
X	Touku												
	X												
	X												
Puuvalipohjan värähtelymitoitus (EC 5)													

1.0 VÄLIPOHJAN RAKENNE

Info

Palkki	Kerto-S 45x300	Palkkikirjasto
Pintalaatta	Ei pintalaattaa	Levykirjasto
Kansirakenne	Havuvanerilevy - 18 - 6 ply - (2400) x 1200	
Kansirakenteen toiminta	Ei liittorakennetta	
Poikittaisjäykisteet	Ei jäykisteitä	
Välipohjan tyyppi	Paikalla rakennettu	
Välipohjan reunan tuenta	2 reunaa tuettu (reunapalkki + kansi + pintalaatta vapaana)	

Palkkijako	k = 400 mm	☐ Tuplapalkit
Jänneväli	L = 3650 mm	
Paikalla rakennetun välipohjan leveys	B = 6000 mm	
Huoneen suurin mitta	6 m	

2.0 VÄLIPOHJAN KUORMAT

Info

Omapaino	g_k = 0.5 kN/m²	
Muutuva kuorma	q_k = 2.0 kN/m²	
Pintalaatan omapaino	g_k = 0.0 kN/m²	
Muutuvan kuorman pysyvä osuus	30 kg/m²	

3.0 MITOITUSTULOKSET

Ominaistaajuus

f₁

24 Hz

37 %

Jäykkyyden lisäämisen menetelmät

Havuvanerilevy - 18 - 6 ply - (2400) x 1200

Taipuma (1 kN)

δ

0,49 mm

98 %

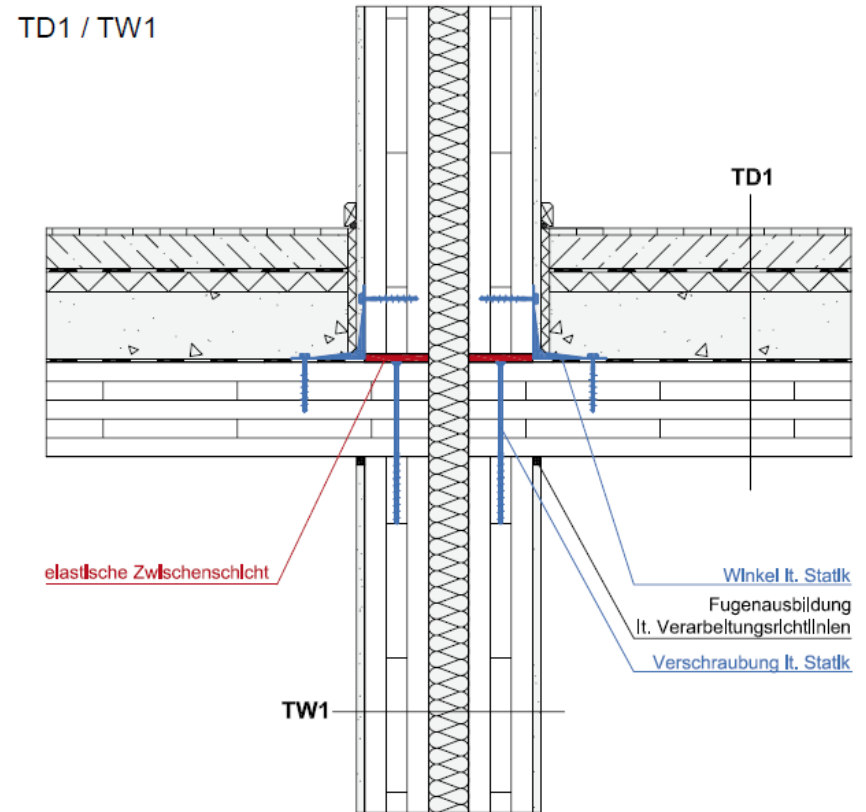
OK

1 x Kerto-S 45x300 k 400

OK

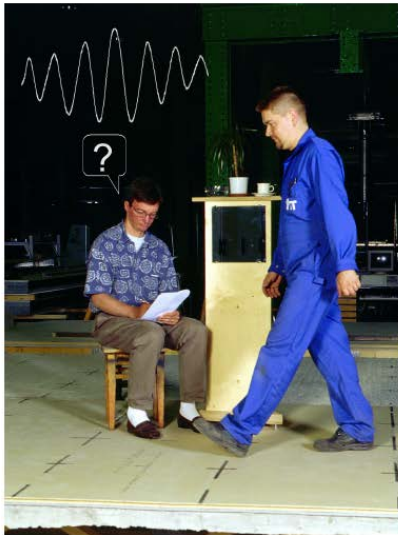
Matalataajuuslattia

- Suomessa ei ole mitoitusmenetelmää ”kevyille” puurakenteisille matalataajuuslattioille
- Käsikirjoissa esitetyt matalataajuuslattioiden mitoitusmenetelmät on tehty betonilattioille
- Puu-betoni-liittolaatassa voidaan kuitenkin soveltaa betonirakenteisen matalataajuuslattian ohjeita (ks. VTT Tiedotteita 2124)



Asko Talja, Tomi Toratti, Erkki Järvinen

Lattioiden värähtelyt Suunnittelu ja kokeellinen arviointi



2.3.4 Kiihtyvyysskriteeri matalataajuuksisilla lattioilla

Jos lattia on matalataajuuksinen, kiihtyvyyssamplitudin suuruus arvioidaan lausekkeesta

$$a_{\max} = \frac{R \cdot P}{W \cdot \zeta} \cdot 0,83 \cdot e^{-0,35 f_0} \quad (10)$$

jossa $P=800$ N (kävelijän paino) ja $e=2,718$. Pienennyskerroin $R=0,7$ ottaa huomioon, että resonanssi-ilmiö ei ehdi kehittyä täyteen arvoonsa herätteen aikana. Lausekkeessa (10) voidaan yleensä käyttää vaimennussuhteena arvoa $\zeta=0,03$. Mikäli välipohja sisältää vähän ei-kantavia rakenteita (väliseinät, alaslasketut katot, kanavat, huonekalut jne.), suositellaan vaimennussuhteeksi pienempää arvoa $\zeta=0,02$.

Neljältä sivulta tuetun lattian värähtelyssä mukana oleva tehollisen lattian osan paino W arvioidaan lausekkeella

$$W = m \cdot b_{\text{eff}} \cdot l, \quad \text{jossa} \quad (11)$$

$$b_{\text{eff}} = 2,0 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4} \cdot l, \quad (12)$$

mutta b_{eff} saa kuitenkin enintään arvon 2/3 lattiapalkkeihin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaislevydestä.

Jos suorakaiteen muotoinen lattia on toiselta lattiapalkin suuntaiselta reunaltaan tuke-
maton, lausekkeessa (12) käytetään kertoimen 2,0 sijasta kerrointa 1,0.

Jos lattiapalkit (pituus l) tukeutuvat pääkannattimiin (pituus L), Välipohjan värähtelyssä mukana oleva tehollinen lattian paino lasketaan lausekkeesta

$$W = \frac{W_l}{1 + f_{0,l}^2 / f_{0,L}^2} + \frac{W_L}{1 + f_{0,L}^2 / f_{0,l}^2} \quad (13)$$

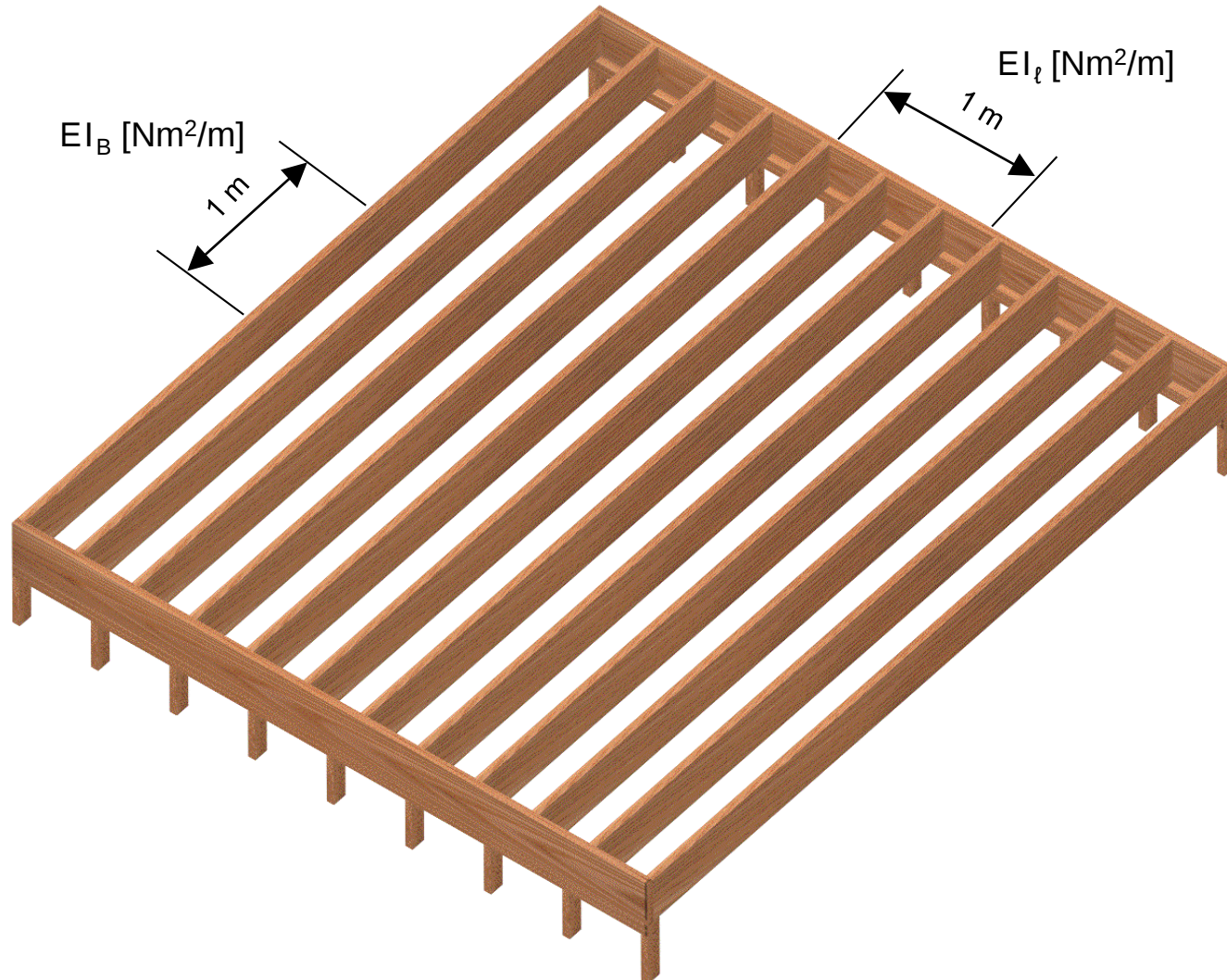
jossa W_l saadaan suoraan lausekkeista (11) ja (12).

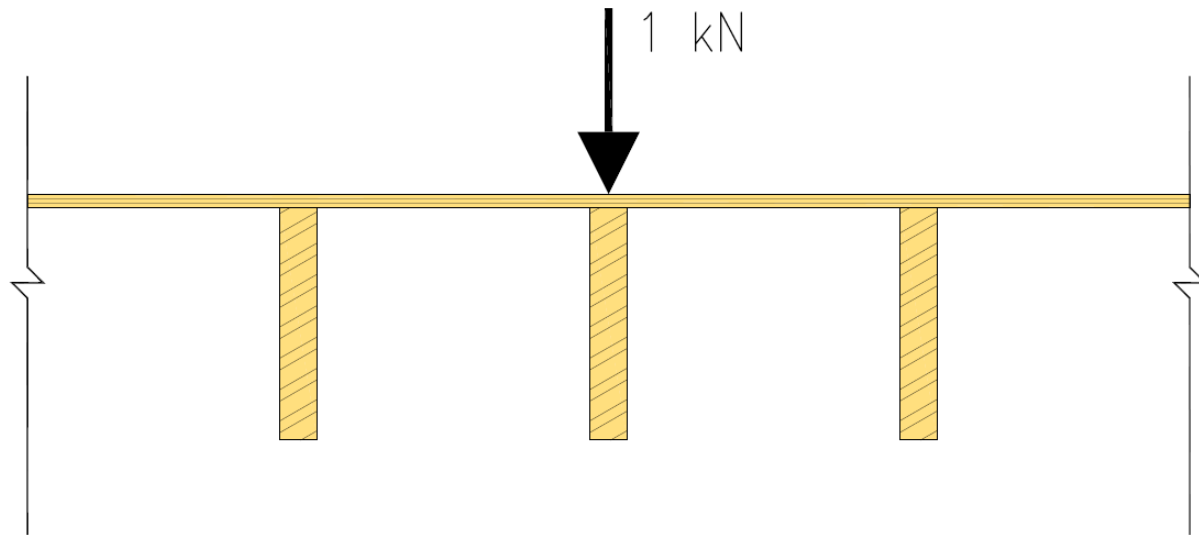
$$W_L = m \cdot l_{\text{eff}} \cdot L, \quad \text{jossa} \quad (14)$$

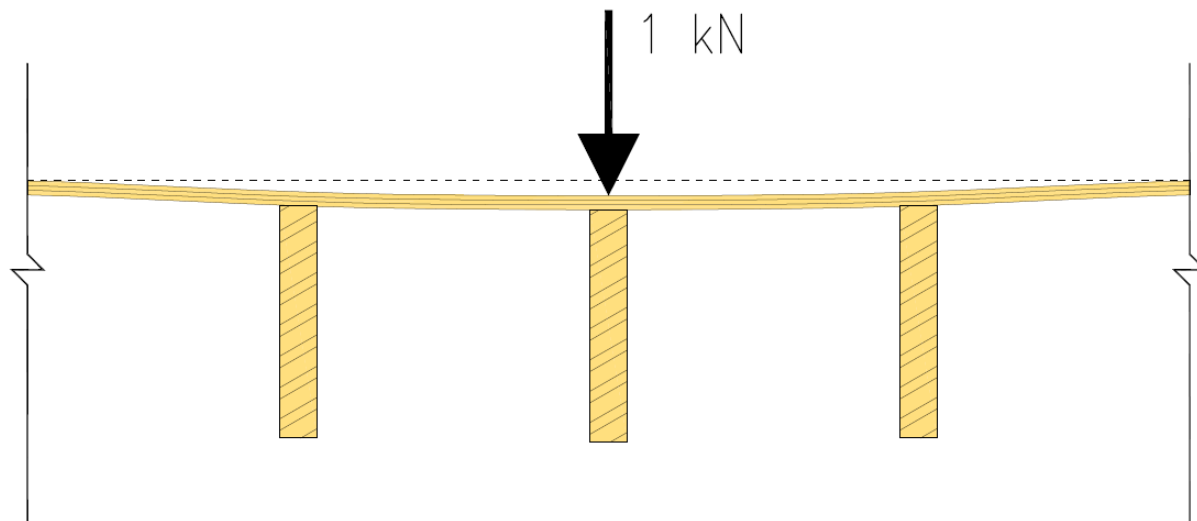
$$l_{\text{eff}} = 1,6 \cdot \left[\frac{(EI)_l}{(EI)_L} \right]^{1/4} \cdot L, \quad (15)$$

mutta l_{eff} saa kuitenkin enintään arvon 2/3 pääkannattimiin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaislevydestä. Jos pääkannatin sijaitsee lattian vapaassa reunassa, lattian jäykkyyttä $(EI)_L$ pienennetään 50 prosentilla.

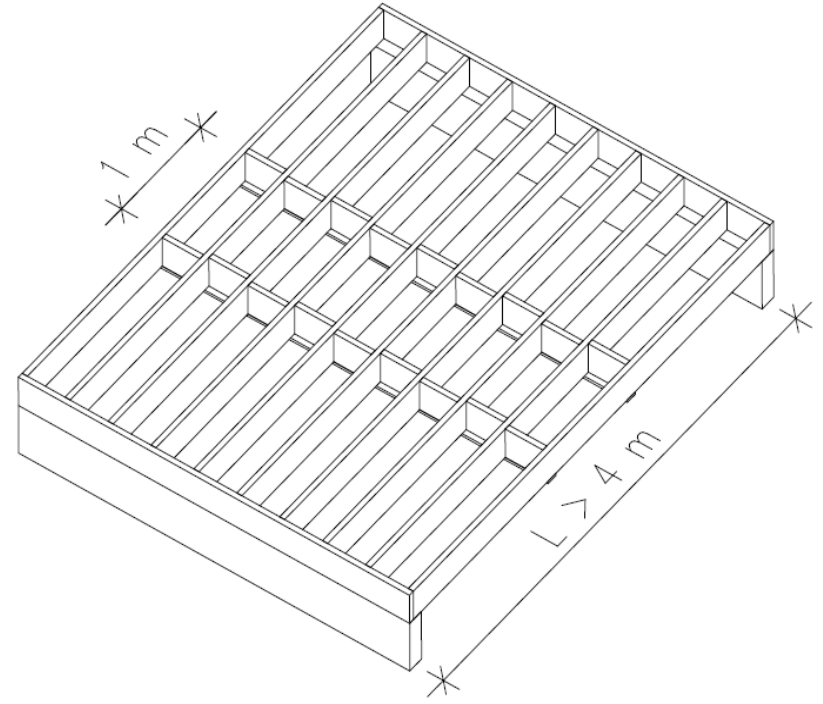
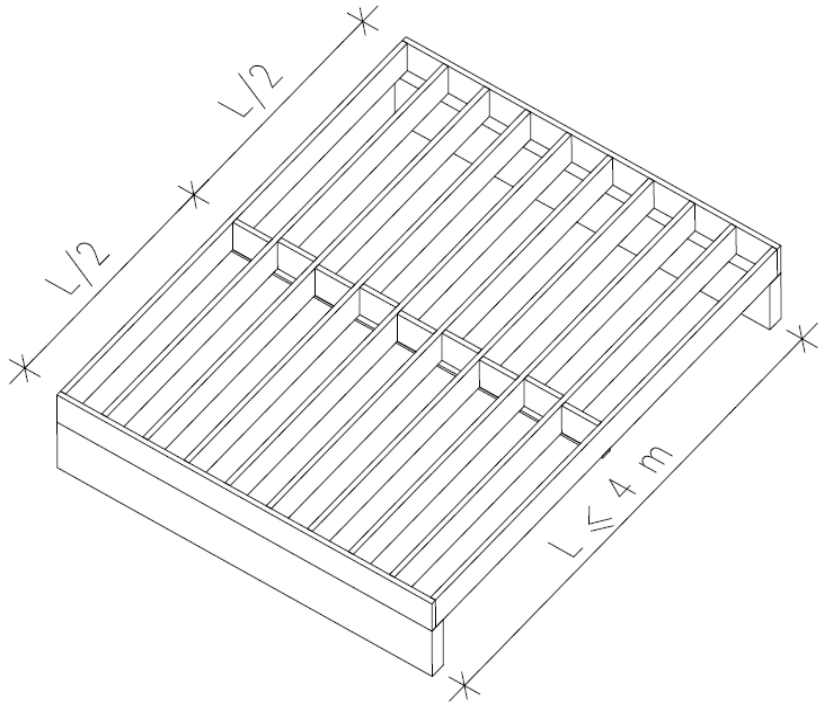
B-suunnan jäykkyys

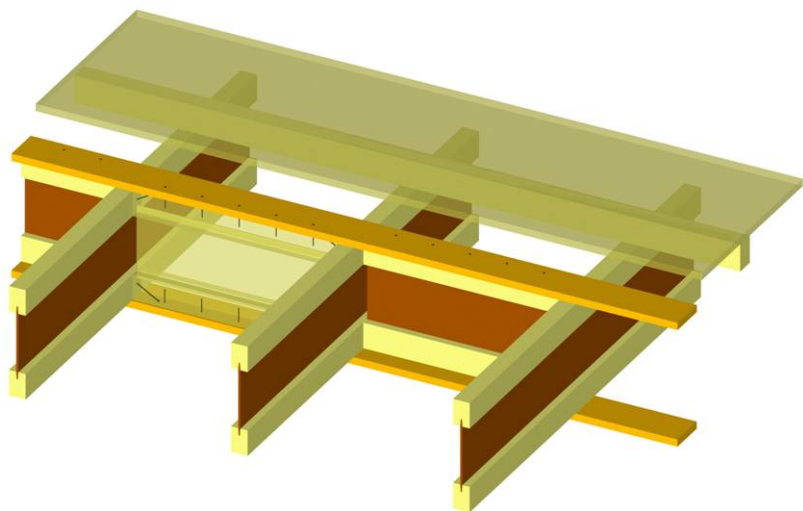
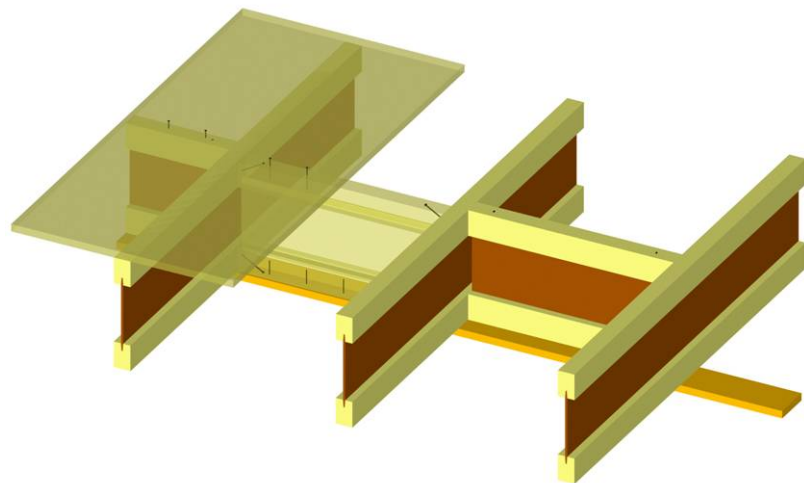
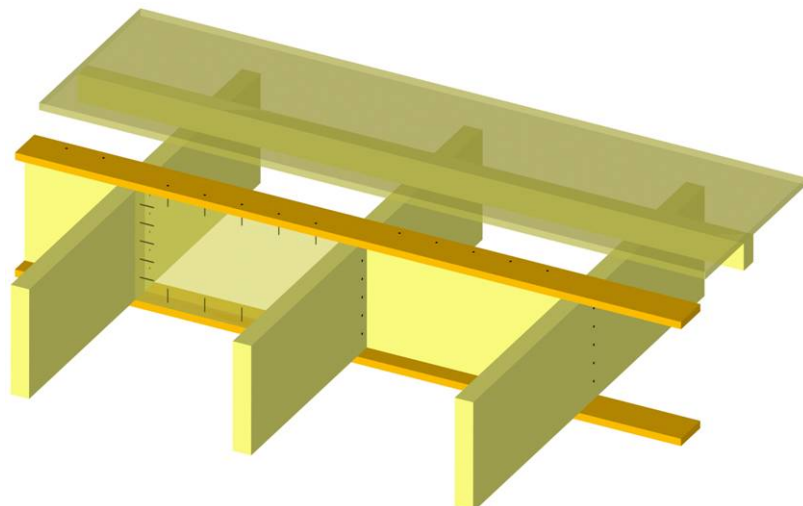
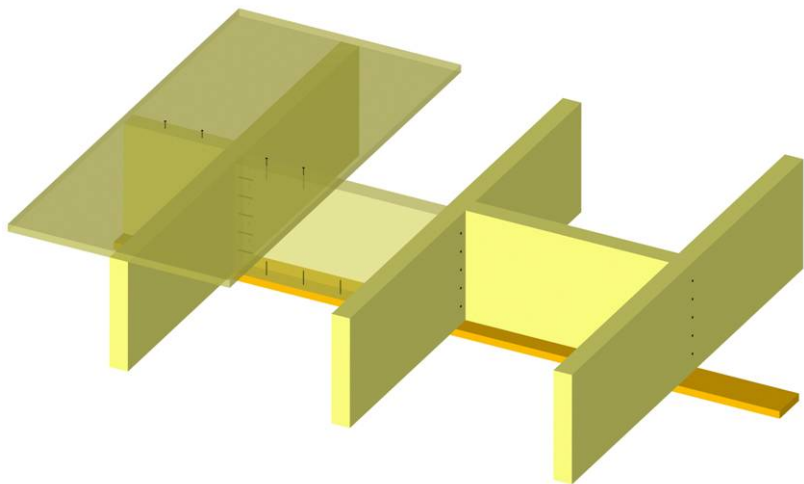






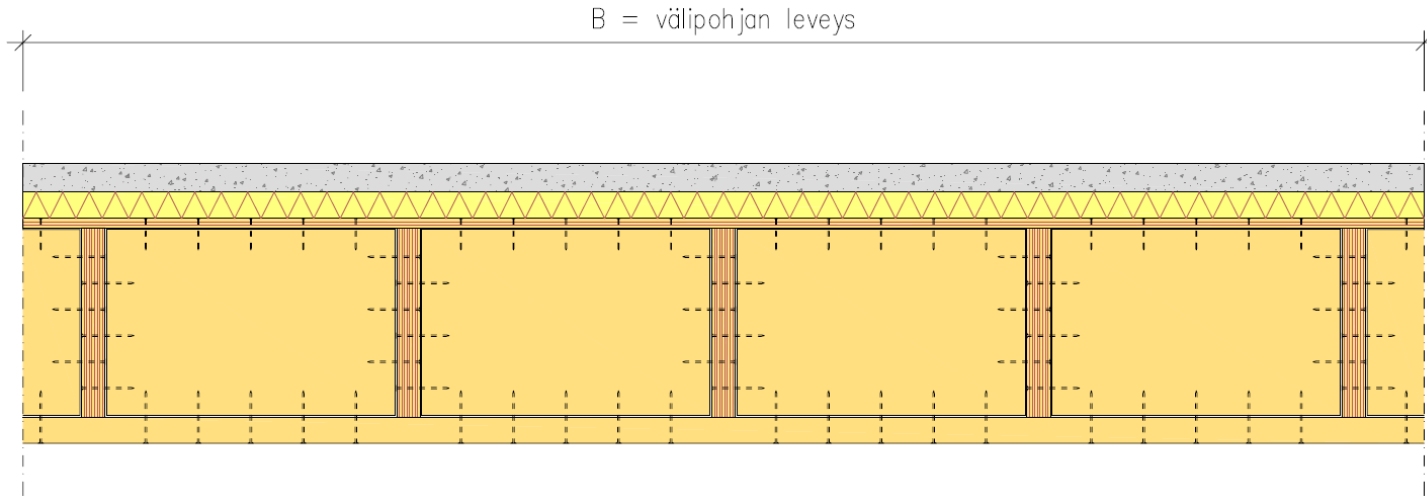
B-suunnan jäykiste







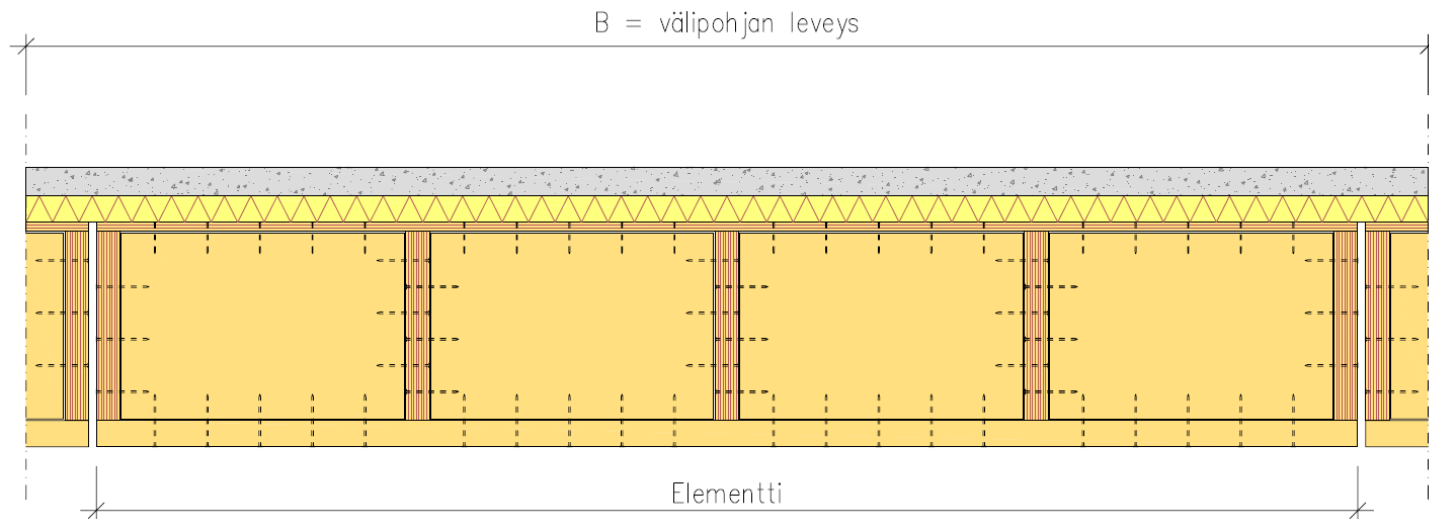
Leveys B-suunnassa ja B-suunnan jäykkyys



$$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_{\ell}}} \quad k_{\delta} \leq \frac{B}{\ell}$$

Paikalla rakennettu välipohja

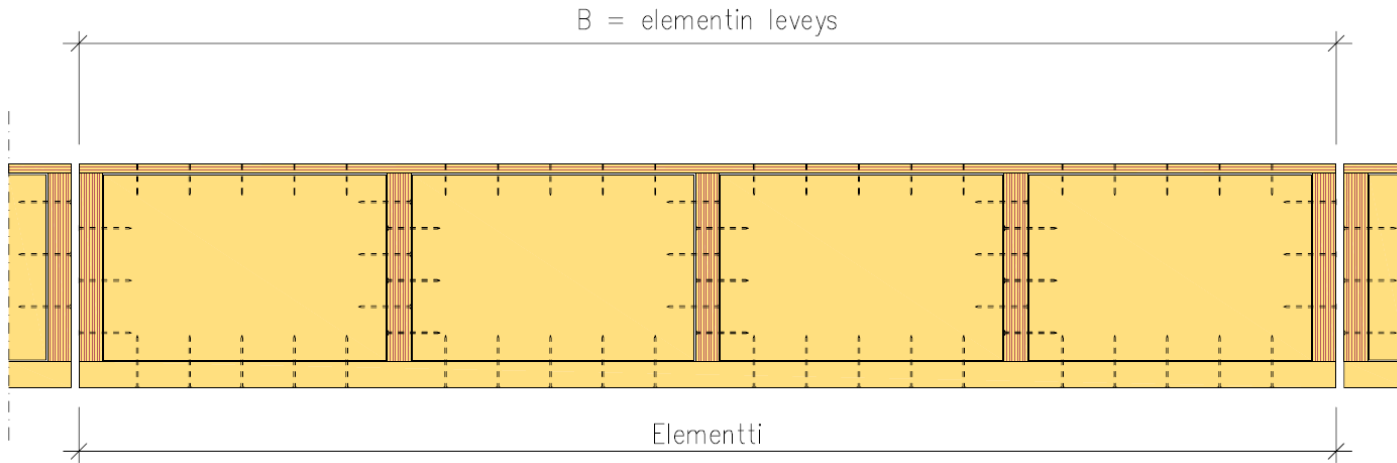
- B-suunnan rakenneosat jatkuvia ja yltävät tuelta tuelle
- B = välipohjan leveys
- B-suunnan jäykkyyteen huomioitavat $(EI)_B$
 - a) pintalaatta
 - b) kansirakenne
 - c) poikittaisjäykiste } summa



$$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_{\ell}}} \quad k_{\delta} \leq \frac{B}{\ell}$$

Elementtirakenteinen välipohja

- Pintavalu jatkuva ja yltää tuelta tuelle
- B = välipohjan leveys
- B -suunnan jäykkyyteen huomioitavat $(EI)_B$
 - a) vain pintalaatta, koska kansilevy ja jäykiste katkeavat



$$k_{\delta} = 4 \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_{\ell}}} \quad k_{\delta} \leq \frac{B}{\ell}$$

Elementtirakenteinen välipohja

- B-suunnassa ei ole jatkuvia rakenneosia
 - B = elementin leveys
 - B-suunnan jäykkyyteen huomioitavat $(EI)_B$
 - a) kansirakenne
 - b) poikittaisjäykiste
- } summa

CLT-välipohja

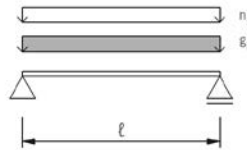
4.2 VIBRATION TEST FOR INCREASED REQUIREMENTS

Minimum panel thicknesses for R0 (cold dimensioning)

according to approval ETA-06/0138

ÖNORM EN 1995-1-1:2009 and ÖNORM B 1995-1-1:2010

ÖNORM EN 1995-1-2:2011 and ÖNORM B 1995-1-2:2011



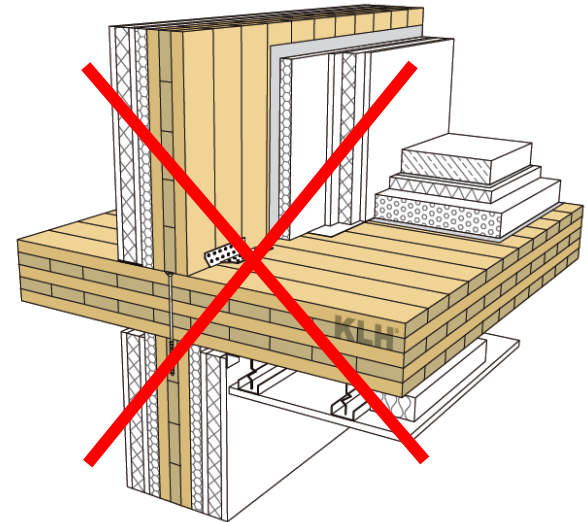
Constant load g_k [kN/m ²]	Imposed load n_k CAT	SPAN OF SINGLE-SPAN GIRDER, ℓ								
		3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m	5.50 m	6.00 m	6.50 m	7.00 m
1.00	A	1.50	3s 78 TL	3s 90 TL		5s 162 TL				
		2.00		3s 95 TL	5s 140 TL					
		2.80								
	B	3.00	3s 90 TL	3s 108 TL		5s 182 TL	5s 200 TL	7ss 208 TL		7ss 230 TL
		3.50			5s 145 TL					
	C	4.00	3s 95 TL	3s 120 TL	5s 140 TL	5s 182 TL			7ss 230 TL	7ss 248 TL
1.50	A	5.00	3s 108 TL		5s 162 TL	5s 200 TL			7ss 260 TL	7ss 280 TL
		1.50		3s 120 TL	5s 145 TL					
		2.00				5s 182 TL				
	B	2.80	3s 90 TL	3s 108 TL			5s 200 TL	7s 201 TL	7s 208 TL	7ss 230 TL
		3.00			5s 140 TL					
	C	3.50				5s 162 TL			7ss 208 TL	7ss 230 TL
2.00	A	4.00	3s 95 TL	3s 120 TL	5s 145 TL			7ss 208 TL	7ss 230 TL	7ss 248 TL
		5.00	3s 108 TL	5s 140 TL	5s 162 TL	5s 182 TL		7ss 248 TL	7ss 260 TL	7ss 280 TL
	B	1.50		3s 108 TL						
		2.00	3s 90 TL		5s 140 TL	5s 162 TL				7ss 230 TL
	C	2.80		3s 120 TL			5s 200 TL	7s 201 TL	7ss 208 TL	
		3.50								7ss 248 TL

Deflection limits according to ÖNORM EN 1995-1-1:2010

- a) characteristic structural design situation: $w_{Q,inst} \leq \ell/300$ and $(w_{nn} - w_{G,inst}) \leq \ell/200$
 b) quasi-permanent structural design situation: $w_{nn} \leq \ell/250$

Vibration test according to Eurocode 5 and Kreuzinger / Mohr

- a) Attenuation factor $\zeta = 2.5\%$; cement screed 5 cm; room width $b = 1.2 \cdot \ell$
 b) $f_1 \geq 4.5$ Hz; $w_F \leq 1.5$ mm/kN; $v < v_{limit}$; $a < 0.10$ m/s² (vibrations considered to be disturbing)
 c) Vibration acceleration was tested with an imposed load of the category C, in addition with $\psi_2 = 0.3$



HUOMIO !

Keski-Euroopan ohjeita ei voida käyttää meillä

Suomen ohjeilla

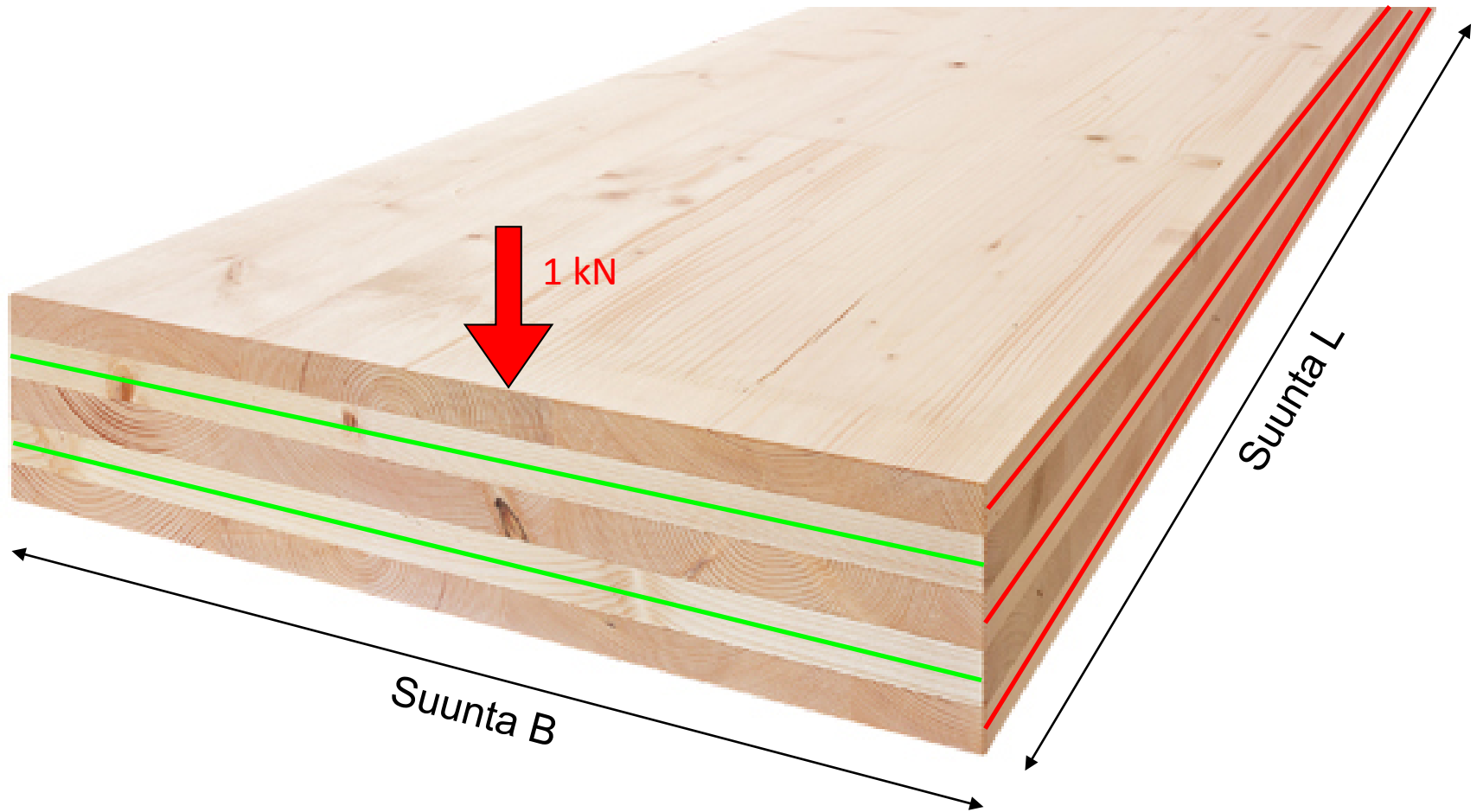
Stora Enso CLT

Jänneväli 5,0 m

Pysyvä kuorma CLT-levy + 1,0 kN/m²

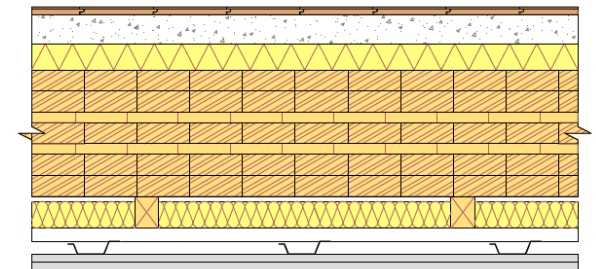
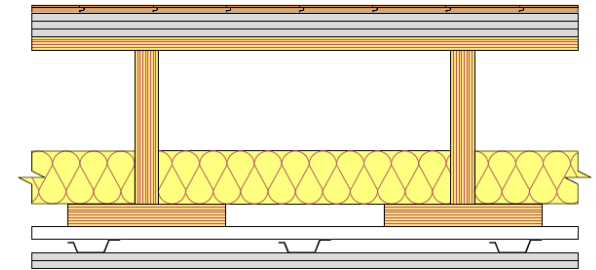
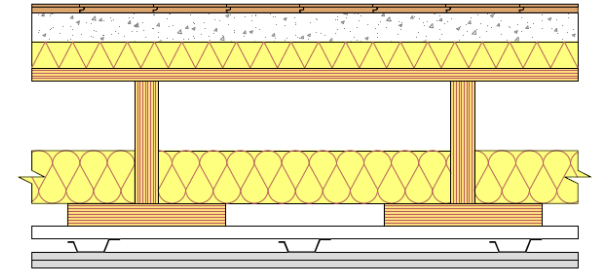
Hyötykuorma 2,0 kN/m²

→ CLT-levyn paksuus 200 mm



Välipohjan ominaisuuksien parantaminen

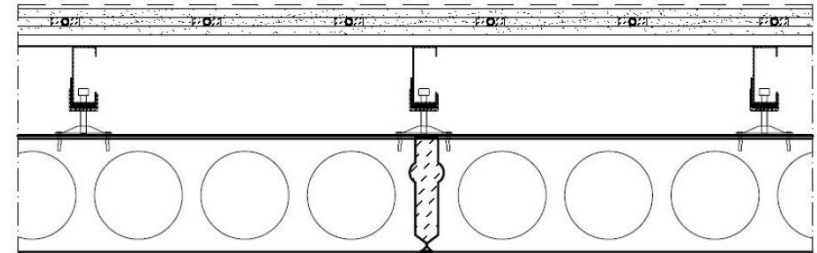
- **Suurena jäykkyyttä jännevälän suunnassa**
 - Nostaa ominaistaajuutta
 - Pienentää taipumaa
- **Suurena jäykkyyttä poikittaissuunnassa**
 - Vähentää ominaismuotoja
 - Vähentää ominaismuotojen joukkoa (mode clustering)
 - Pienentää taipumaa
- **Lisää vaimennusta**
 - Vähentää resonanssiongelmaa
 - Vaikea toteuttaa (puurakenteilla luonnostaan korkea)
- **Vältä liian pehmeitä pintakerroksia**
 - Lisää taipumaa



Pyykinpesukoneen aiheuttama värähtely

PUUKERROSTALOT

- 90-luvulla pesukoneen värähtelyä pidettiin todella suurena ongelmana puukerrostalossa
- Tehdyissä asukaskyselyissä pesukoneen aiheuttama värähtely ei kuitenkaan ole noussut esille
- VTT tutkinut pyykinpesukoneiden aiheuttamaa herätettä ja herätteestä johtuvaa lattian värähtelyä (v. 2003)
- VTT kehittänyt menetelmiä lattian värähtelyn laskennalliseksi arvioimiseksi sekä raja-arvoja sallituille värähtelytasolle



Kuva 15. Koelattian rakenne



Kuva 16. Yleiskuva koetilanteesta. Pesukone vasemmalla ja kiihtyvyyssanturi lattian keskellä.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ VTT:n TUTKIMUKSESTA

- Pesukoneen aiheuttamat herätteet ovat taajuusalueella 5 - 60 Hz.
- Taajuusalue on niin laaja, että jonkin lattian ominaistaajuus on lähes varmasti samalla taajuusalueella herätteen kanssa. Tällöin on mahdollista, että pesukoneen linkous aiheuttaa resonanssitilanteen.
- Tapahtuuko resonanssi vai ei, riippuu pesukoneen merkistä ja tyypistä ja lattian ominaistaajuuksista. Etukäteen ei tiedetä millaisia pesukoneen käyttämät todelliset linkousnopeudet ovat, koska ennen nimellisellä kierrosnopeudella tehtävää loppulinkousta koneet tekevät useita välilinkouksia.
- Resonanssivärähtelyn vaara on olemassa kaikilla tavanomaisilla lattiaratkaisuilla ja pyykinpesukonetyypeillä.
- Pesukonetta ei tule sijoittaa keskijänteelle vaan mieluummin lähelle tukevia kantavia rakenteita.
- Pesukoneen vaihtaminen toiseen malliin tai merkkiin saattaa vaikuttaa värähtelyn tasoon ja pienentää mahdollisesti ilmennyttä ongelmaa. Syynä on herätetaajuuden muuttuminen.

Liikenteen aiheuttama värähtely

