

RakMK B7:n kohta: 3.6.2
RakMK B6:n kohta: 3.6.2

RakMK B7 1996
RakMK B6 1989

Kävelystä aiheutuvat välipohjien värähtelyt

Yhteyshenkilö: Jyri Outinen
Teräsrakenneyhdistys ry
Unioninkatu 14, 00131 HELSINKI
puh. (09) 12991, fax. (09) 1299 214

Menetelmän kuvaus: Tämän ohjeen mukaan voidaan arvioida laskennallisesti sekä kevyiden että raskaiden teräsrunkoisten välipohjien kävelystä aiheutuvien värähtelyiden hyväksyttävyyttä.

Menetelmän rajoitukset: Tätä ohjetta voidaan käyttää seuraavin edellytyksin:

- välipohja liittyy asuin- tai toimistotiloihin
- välipohjan alin ominaistajuus on yli 3 Hz
- värähtelyn aiheuttaa ihmisen kävely
- värähtelyn suuruudelle ei aseteta erityisvaatimuksia

Menetelmää ei tule käyttää mm. liike- ja liikuntatiloihin, joilla kuormitus- ja vaatimustaso poikkeaa edellä esitetystä, tai tiloihin, joiden värähtely aiheutuu koneista.

Teräsrakenneyhdistyksen Normitoimikunta on käsitellyt ja hyväksynyt 7.2.2005 Teräsnormikortin ja todennut sen täyttävän RakMK:n teräsrakenteita koskevien ohjeiden vaatimukset. Teräsnormikortin käyttäjällä on vastuu kortin ohjeiden käytöstä.

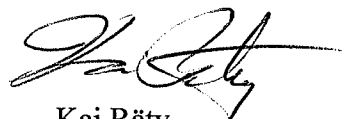
Tämä Teräsnormikortti on voimassa toistaiseksi.

Helsingissä maaliskuun 21. päivänä 2005

TERÄSRAKENNEYHDISTYS RY



Simo Tunkelo
puheenjohtaja



Kai Rätty
toimitusjohtaja

SYMBOLILUETTELO

a	[m/s ²]	ihmisen kävelystä aiheutuva laskettu kiihtyvyys
x	[m]	huoneen suurin leveys- tai pituus
b	[m]	lattian leveys
b_{eff}	[m]	lattian värähtelevän osan tehollinen leveys
$e=2,718$	[-]	Neperin luku
s	[m]	lattiapalkkien välinen etäisyys
f_o	[Hz]	lattian alin ominaistajuus
l	[m]	lattiapalkkien pituus
m	[kg/m ²]	koko välipohjan massa lattian pinta-alayksikköä kohden + hyötykuormasta osuus 30 kg/m ²
L	[m]	pääkannattimen jänneväli
E_l	[N/m ²]	lattian pituussuuntaa l vastaava redusoitu kimmokerroin
I_l	[m ⁴ /m]	lattian pituussuuntaa l vastaava, leveysyksikköä kohden laskettu taivutusjäyhyys
$(EI)_b$	[Nm ² /m]	lattian pienempi, leveyssuuntaa b vastaava jäykkyys $E_b \cdot I_b$
$(EI)_l$	[Nm ² /m]	lattian suurempi, pituussuuntaa l vastaava jäykkyys $E_l \cdot I_l$
$(EI)_L$	[Nm ² /m]	lattian pääkannattamien ja pintalaatan yhteinen jäykkyys $E_L \cdot I_L$, pituusyksikköä kohden
W	[kg]	värähtelyssä mukana olevan lattian osan tehollinen massa
P	[N]	värähtelyn aiheuttavan henkilön paino
R	[-]	kiihtyvyyden pienennyskerroin (= 0,7)
δ_0	[m]	pistevoimasta 1 kN aiheutuva suurin kokonaistaipuma
δ_1	[m]	pistevoimasta 1 kN aiheutuva suurin paikallinen taipuma
ζ	[-]	vaimennussuhde

1 Yleistä

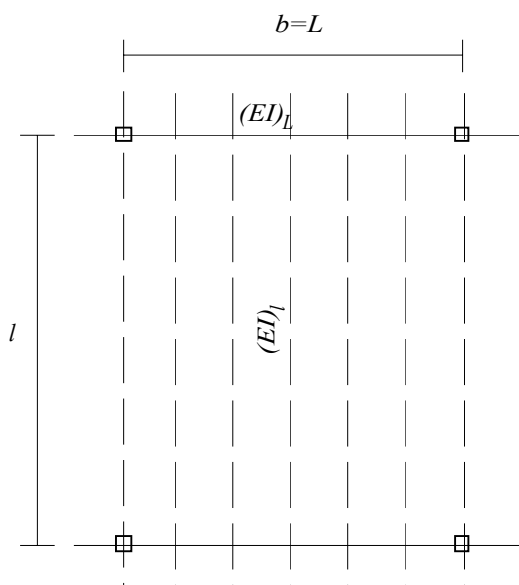
Ihmisen keho ja monet esineet ovat erittäin herkkiä lattioiden värähtelyille. Keho voi aistia pienetkin värähtelyt epämiellyttävinä. Huonekaluihin, astioihin tai kasveihin siirtyvä värähtely voi aiheuttaa haitallista ääntä tai liikettä.

Kävely sisältää sekä jaksottaisia että iskumaisia komponentteja. Matalin jaksottainen kuormitus tapahtuu kävelytajuudella 1,6-2,2 Hz, mutta kuormituskomponentteja esiintyy myös tämän taajuuden toisella ja kolmannella moninkerralla 3,2-8,8 Hz. Kävelystä aiheutuva värähtely voi muodostua haitalliseksi, jos kävelyn jaksolliset kuormituskomponentit vahvistuvat liiaksi resonanssi-ilmiön vuoksi, jos kantapäähän isku lattiaan aiheuttaa liian suurta tärinää, tai jos lattia notkuu liiaksi askelten alla.

Resonanssia pidetään mitoituksessa määräävänä, jos välipohjan värähtelyn alin ominaistajuus on alle 10 Hz. Jos taajuus on tätä suurempi, välipohjan notkuminen tai tärinä muodostuu mitoituksessa määrääväksi. Määräävän tekijän vaihtumisen vuoksi mitoituksessa on epäjatkuvuutta 10 Hz:n kohdalla. Hyllyissä olevien tavaroiden värähtelyyn vaikuttaa erityisesti lattian paikallisesta taipumisesta johtuva hyllyn kallistuminen. Matalat ominaistajuudet ovat tyypillisiä raskaille ja korkeat ominaistajuudet kevyille välipohjille.

Seuraavassa esitetty menetelmä perustuu VTT:llä vuosina 1996-2004 tehtyihin tutkimuksiin. Menetelmää koskeva yhteenveto ja tausta on kuvattu vuoden 2003 Rakentajain kalenterissa. Kelluvien lattioiden ja korotuslattioiden osalta menetelmää on täydennetty vuonna 2004 saatuihin uusiin tutkimustuloksiin perustuen.

Tässä normikortissa annetaan suositus lattioiden värähtelyluokitukseksi ja kuvataan suorakaiteen muotoisen lattian värähtelytarkastelu. Tarkasteltava lattia voi olla myös osa suurempaa väli- tai alapohjaa (kuva 1). Värähtelytarkastelu on materiaaliriippumaton.



Kuva 1. Tyypillinen välipohjan osa-alue, joka käsittää pintalaatan, lattiapalkit ja pääkannattimet.

2 Värähtelykriteerit

Lattian tarkastelussa tulee ottaa huomioon

- 1 kN:n paikallisesta kuormituksesta aiheutuva välipohjan runkorakenteen kokonaistaipuma δ_0 , kun välipohjan ominaistaajuus on yli 10 Hz. Tällaisia lattioita kutsutaan korkeataajuuksisiksi lattioiksi.
- Yhden henkilön kävelystä aiheutuva välipohjan runkorakenteen kiihtyvyys a , kun välipohjan ominaistaajuus on alle 10 Hz. Tällaisia lattioita kutsutaan matalataajuuksisiksi lattioiksi.
- 1 kN:n paikallisesta kuormituksesta aiheutuva lattian pinnan paikallinen taipuma δ_1 . Paikallinen taipuma koskee lattiapalkkien välistä lattian pintarakenteen taipumista, kelluvia lattioita ja korotuslattioita.

Lattiat jaetaan värähtelyluokkiin taulukon 1 mukaisesti. Taulukossa esitettyjä lattian runkorakenteelle asetettuja rajoja voidaan korottaa kertoimella

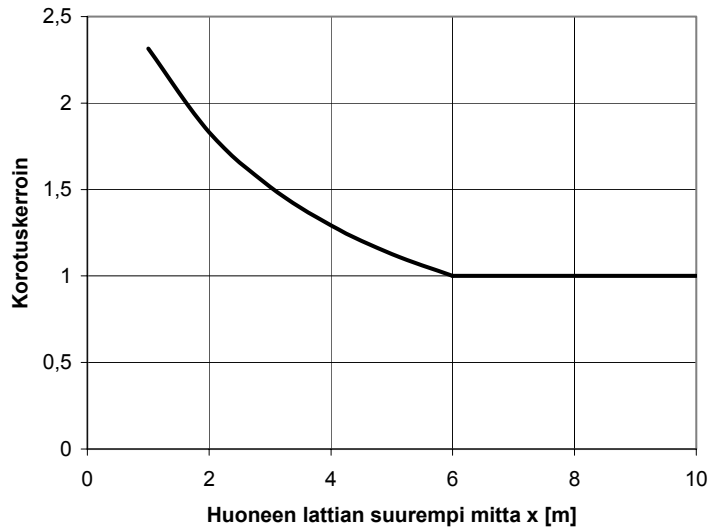
$$k = \frac{1}{0,318 + 0,114 \cdot x} \quad (1)$$

kun lattian suurin pituus tai leveys x [m] on alle 6 m. Kerroin on esitetty graafisesti kuvassa 1. Tiettyyn luokkaan kuuluvan lattian on täytettävä sekä lattian runkoa koskeva kriteeri että paikallista taipumaa koskeva kriteeri.

Taulukossa 2 on esitetty suositus sovellettavasta luokituksesta.

Taulukko 1. Lattioiden värähtelyluokitus.

Värähtelyluokka	Kriteeri lattian rungolle		Kriteeri paikalliselle taipumalle
	Korkeataajuuksiset lattiat	Matalataajuuksiset lattiat	Sekä korkea- että matalataajuuksiset lattiat
A	$\delta_0 < 0,12 \text{ mm}$	$a < 0,03 \text{ m/s}^2$	$\delta_1 < 0,12 \text{ mm}$
B	$\delta_0 < 0,25 \text{ mm}$	$a < 0,05 \text{ m/s}^2$	$\delta_1 < 0,25 \text{ mm}$
C	$\delta_0 < 0,50 \text{ mm}$	$a < 0,075 \text{ m/s}^2$	$\delta_1 < 0,50 \text{ mm}$
D	$\delta_0 < 1,0 \text{ mm}$	$a < 0,12 \text{ m/s}^2$	$\delta_1 < 1,0 \text{ mm}$
E	$\delta_0 > 1,0 \text{ mm}$	$a > 0,12 \text{ m/s}^2$	$\delta_1 > 1,0 \text{ mm}$



Kuva 1. Lausekkeen (1) mukainen värähtelyrajan korotuskerroin.

Taulukko 2. Suositus asuin- ja toimistorakennusten värähtelyluokituksesta.

Värähtelyluokka	Värähtelyluokan soveltamisalue
A	Normaaliluokka huoneistosta toiseen siirtyville värähtelyille. Erikoisluokka, kun värähtelyn aiheuttaja on samassa huoneistossa.
B	Alempi luokka huoneistosta toiseen siirtyville värähtelyille. Ylempi luokka asuin- ja toimistorakennuksille, kun värähtelyn aiheuttaja on samassa huoneistossa.
C	Normaaliluokka asuin- ja toimistorakennuksille, kun värähtelyn aiheuttaja on samassa huoneistossa.
D	Alempi luokka asuinrakennuksille, kun värähtelyn aiheuttaja on samassa huoneistossa. Esim. omakotitalojen ullakot tai vapaa-ajan asunnot.
E	Luokka, jolle ei aseteta rajoituksia.

3 Lattian ominaistajuus

Yksinkertaisen neljältä sivulta tuetun suorakaiteen muotoisen lattian alin ominaistajuus lasketaan lausekkeesta

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2\left(\frac{l}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \right] \frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (2)$$

jossa l on lattian pituus, $(EI)_l$ on lattian suurempi pituussuuntaa l vastaava jäykkyys, $(EI)_b$ on lattian pienempi leveyssuuntaa b vastaava jäykkyys ja m on välipohjan massa lattian pinta-alayksikköä kohden. Lattian massa sisällytetään hyötykuormasta 30 kg/m^2 .

Usein lattiapalkkien suuntaisten reunojen tuennalla ei ole merkitystä ominaistajuuteen. Tällöin ominaistajuus voidaan laskea lausekkeesta:

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}, \quad (3)$$

Lauseke (3) aliarvioi ominaistajuutta enintään 5 %, kun $b/l > 1,0$ ja $(EI)_l/(EI)_b > 30$, mutta jos $b/l = 0,5$, samaan tarkkuuteen päästään vasta, kun $(EI)_l/(EI)_b > 200$.

Jos lattiapalkit (pituus l) tukeutuvat pääkannattimiin (pituus $L=b$), systeemin alin ominaistajuus voidaan arvioida lattiapalkin ja pääkannattimen ominaistajuuksien avulla lausekkeesta:

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{0,l}^2} + \frac{1}{f_{0,L}^2}}}, \quad (4)$$

jossa $f_{0,l}$ lasketaan lausekkeesta (2) ja pääkannattimen ominaistajuus lausekkeesta

$$f_{0,L} = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}. \quad (5)$$

Tekijä $(EI)_L$ on pääkannattimien ja pintalaatan yhteinen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden.

4 Kokonaistaipuman laskeminen

Paikallisesta ominaiskuormituksesta 1 kN aiheutuva välipohjan kokonaistaipuma δ_0 on tarkistettava, kun välipohjan ominaistajuus on yli 10 Hz.

Taipuma arvioidaan neljältä sivulta tuetun suorakaiteen muotoisen ortotrooppisen laatan taipumana. Ominaiskuormituksesta $F = 1$ kN aiheutuva laatan keskipisteen taipuma on

$$\delta_0 = \gamma \cdot \frac{Fl^2}{(EI)_l}, \quad \text{jossa} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{4}{\alpha\pi^4} \sum_i \sum_j \frac{1}{(2i-1)^4 + \beta \left(\frac{2j-1}{\alpha}\right)^4}; \quad \alpha = \frac{b}{l} \quad \text{ja} \quad \beta = \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \quad (7)$$

Useissa tapauksissa lattiapalkkien suuntaisella reunan tuennalla ei ole merkitystä taipumaan. Tällöin lausekkeen (7) sijaan voidaan käyttää lauseketta

$$\gamma = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \quad (8)$$

Lausekkeiden (7) ja (8) tuloksien ero on enintään 2,5 %, kun $b/l > 1,0$ ja $(EI)_l / (EI)_b > 20$, mutta jos $b/l = 0,5$, samaan tarkkuuteen päästään vasta, kun $(EI)_l / (EI)_b > 300$.

Jos lausekkeen (6) avulla laskettu taipuma on suurempi kuin lattiasta erotetun korvauspalkin taipuma ominaispistekuormalla $F = 1$ kN, vertailutaipumana käytetään korvauspalkin avulla laskettua suurinta mahdollista taipumaa:

$$\delta_{\max} = \frac{Fl^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_l} \quad (9)$$

jossa s on lattiapalkkien etäisyys (keskeltä keskelle) ja $s \cdot (EI)_l$ on korvauspalkin taivutusjäykkyys.

Jos lattiapalkit tukeutuvat pääkannattimiin, taipumaan on lisättävä pääkannattimien taipuma.

5 Kiihtyvyyden laskeminen

Yhden henkilön kävelystä aiheutuva välipohjan kiihtyvyys on tarkistettava, kun välipohjan ominaistajuus on alle 10 Hz. Kiihtyvyys arvioidaan lausekkeella:

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

jossa $P = 800$ N (kävelijän paino), $R = 0,7$ ja $e = 2,718$. Vaimennussuhteena voidaan yleensä käyttää 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 suorakaiteen muotoisen lattian värähtelyssä mukana oleva tehollinen massa 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

tukematon, lausekkeessa (12) käytetään kertoimen 2,0 sijasta kerrointa 1,0.

Jos lattiapalkit (pituus l) tukeutuvat pääkannattimiin (pituus L), värähtelyssä mukana oleva tehollinen massa 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 lausekkeista (11) ja (12). Tekijä

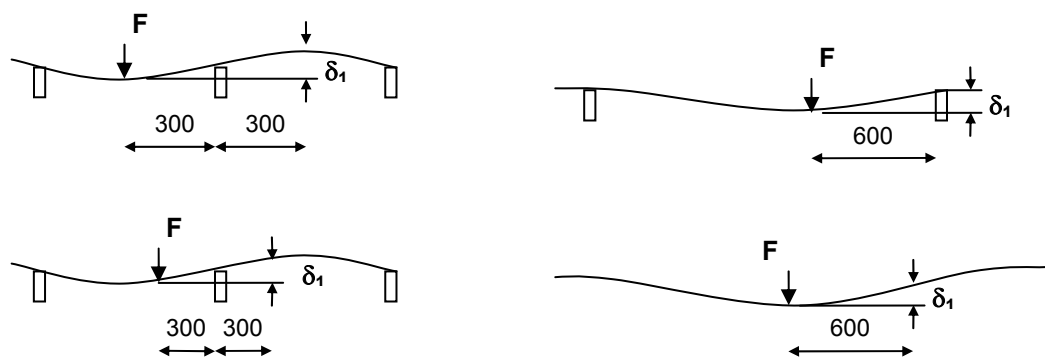
$$W_L = m \cdot l_{eff} L, \quad \text{jossa} \quad (14)$$

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

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

6 Paikallisen taipuman arviointi

Paikallinen taipuma δ_1 koskee lattiapalkkien välistä lattian pintarakenteen taipumista, kelluvia lattioita ja korotuslattioita. Paikallinen taipuma on 1 kN:n pistevoiman kohdalla olevan taipuman ja 600 mm:n etäisyydellä olevan taipuman erotus (kuva 2). Tarkastelussa ei tarvitse ottaa huomioon lattiapalkkien taipumista.



Kuva 2. Esimerkkejä lattian pintarakenteen taipumisesta.

Eniten paikallisen taipuman kriteeri vaikuttaa kelluvien lattioiden ja korotuslattioiden suunnitteluun. Koska esimerkiksi kelluvilla lattioilla pintalevyn, eristelevyn ja eristelevyn alapuolisen lattialevyn yhteisvaikutusta ja eri rakennekerrosten kontaktia on vaikea mallintaa tarkasti, kelluvien lattioiden ja korotuslattioiden suunnittelu perustuu yleensä kokeellisesti määritettyyn paikallisen taipuman arvoon.

7 Lähdeluettelo

AISC/CISC. 1997. Steel design guide series 11. Floor vibrations due to human activity. American Institute of Steel Construction. 69 s.

Talja, A. 1996. Teräsrunkoisten välipohjien värähtelyjen hallinta. VTT Tiedotteita 1790. 64 s. + liitt. 14 s.

Talja A., Toratti, T., Järvinen E. 2002. Lattioiden värähtelyt, Suunnittelu ja kokeellinen arviointi. VTT Tiedotteita 2124. 50 s. + liitt. 12 s.

Talja, A., Toratti, T. 2002. Lattioiden värähtelysuunnittelu. Rakentajain kalenteri 2003, s. 467-478.

Toratti, T., Talja, A. 2004. Analysis of walking induced vibration test results of floating floors and raised floors. VTT:n sisäinen raportti RTE-IR-12/2004. 31 s. + liitt. 8 s.

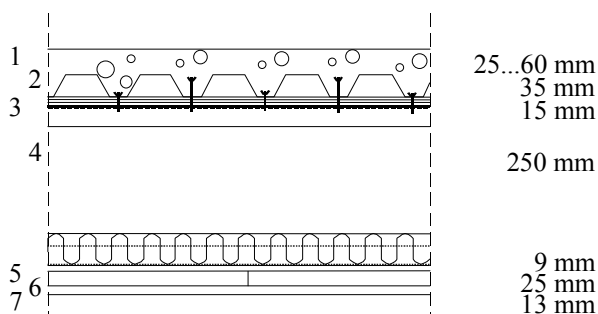
8 Liitteet

1. Esimerkkejä Teräsnormikorttiin 17/2005.

ESIMERKKEJÄ NORMIKORTTIIN 17/2005 Kävelystä aiheutuvat välipohjien värähtelyt

ESIMERKKI 1: Kuvassa olevaa rakennetta on käytetty pientalon välipohjassa. Lattian kaikki reunat tukeutuvat kantaviin seiniin. Lattian päälle on asennettu kelluva lattia, jonka pintalevynä on 22 mm:n lastulevy ja askelääneneristykseenä 60 mm:n kova mineraalivilla. Arvioidaan lattian värähtelyluokka:

- ilman kelluvaa lattiaa ja
- kelluvan lattian kanssa



- Pintabetoni K30-2 + verkko #4 - 150
- Teräsjoimulevy RAN 35A/0,7 Zn, 2 lisäruuvia joka toiseen poimuun/orsi, kannat jätetään koholle 15 mm
- Vaneri, liimatut ponttisaumat
- Kantava rakenne, C-profiili C-250, 2 kpl seläkkäin, k400, alaosassa ääneneriste, mineraalivilla 50 mm
- Tuulensuojakipsilevy GTS 9
- Joustoranka Z25 k 400
- Kipsilevy

Suunnittelutiedot:

Välipohjan jännemitta	$l := 7.5m$
Välipohjan leveys	$b := 7.5m$
Lattiapalkkien etäisyys	$s := 400mm$
Välipohjan massa + kuorma 30 kg/m^2	$m_l := 200 \frac{kg}{m^2}$
Lattian pituussuuntaa vastaava jäykkyys (täysi liittovaikutus)	$EI_l := 25 \cdot 10^6 \frac{N \cdot m^2}{m}$
Lattian poikittaissuuntaa vastaava jäykkyys	$EI_b := 3 \cdot 10^5 \cdot \frac{N \cdot m^2}{m}$
Neperin luku	$e = 2.718$
Painovoiman kiihtyvyys	$g = 9.807 \frac{m}{s^2}$

a) Värähtelyluokka ilman kelluvaa lattiaa

Ominaistaajuuden laskenta

Alin ominaistaajuus on lausekkeen (2) mukaan:

$$f_0 := \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_l}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{l}{b} \right)^2 + \left(\frac{l}{b} \right)^4 \right] \cdot \frac{EI_b}{EI_l}} \quad f_0 = 10.0 \text{ Hz}$$

Vertailu lausekkeen (3) yksinkertaistukseen:

$$f_{0,y} := \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_l}} \quad f_{0,y} = 9.9 \text{ Hz}$$

Koska lattian alin ominaistaajuus ei ole alle 10 Hz, lattiaa voidaan tarkastella korkeataajuuksisena lattiana, jolloin on tarkistettava lattian rungon kokonaistaipuma.

Värähtelyluokka kokonaistaipuman mukaan

Arvioitu ortotrooppisen laatan taipuma pistevoiman 1 kN kohdalla on lausekkeiden (6) ja (7) mukaan:

$$\alpha := \frac{b}{l} \quad \beta := \frac{EI_b}{EI_l} \quad F := 1000 \text{ N}$$
$$\gamma := \frac{4}{\alpha \cdot \pi^4} \cdot \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^{100} \frac{1}{(2 \cdot i - 1)^4 + \beta \cdot \left(\frac{2 \cdot j - 1}{\alpha} \right)^4}$$
$$\delta_0 := \gamma \cdot \frac{F \cdot l^2}{EI_l} \quad \delta_0 = 0.163 \text{ mm}$$

Vertailu lausekkeen (8) yksinkertaistukseen:

$$\gamma_y := \frac{1}{42 \cdot (\beta)^{0.25}}$$
$$\delta_{0,y} := \gamma_y \cdot \frac{F \cdot l^2}{EI_l} \quad \delta_{0,y} = 0.162 \text{ mm}$$

Lausekkeen (9) avulla laskettu korvauspalkin taipuma

$$\delta_{max} := \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot s \cdot EI_l} \quad \delta_{max} = 0.879 \text{ mm}$$

Koska ortorooppisen laatan taipuma on pienempi kuin korvauspalkin taipuma ($d_0 < d_{max}$), vartailutaipumana käytetään ortotrooppisen laatan taipumaa.

Kun oletetaan, että huoneen suurin pituus tai leveys on vähintään sama kuin lattian jänneväli 6 m, taulukossa 1 esitettyjä lattian rungon taipumarajoja ei voida korottaa.

Koska laskettu lattian rungon taipuma on pienempi kuin 0,25 mm, mutta suurempi kuin 0,12 mm, lattia kuuluu rungon taipuman perusteella taulukon 1 mukaan värähtelyluokkaan B.

b) Värähtelyluokka kelluvan lattian kanssa

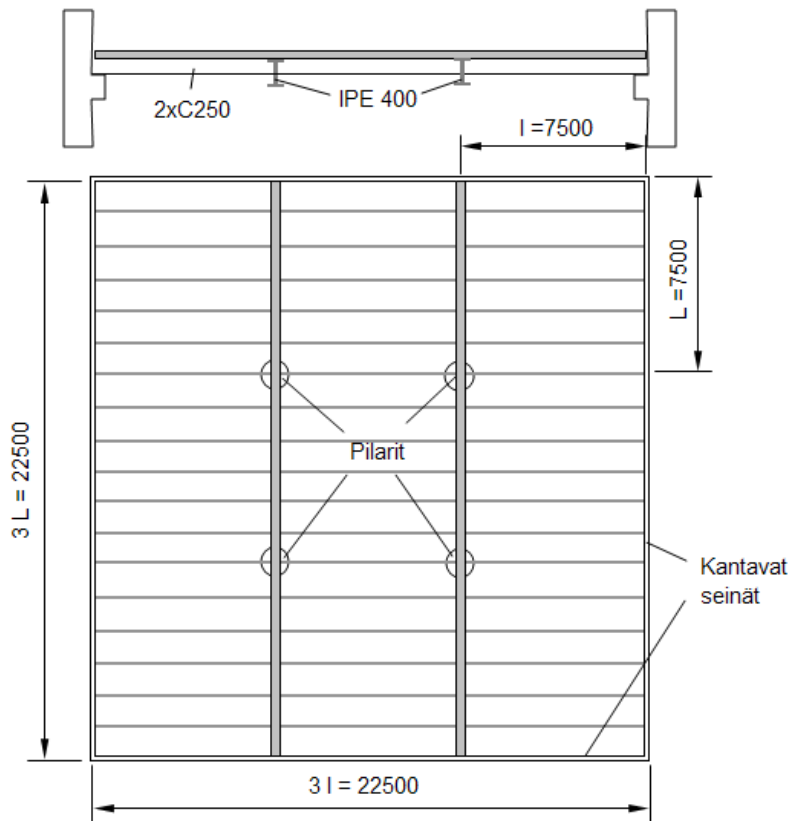
Värähtelyluokka paikallisen taipuman mukaan

Kokeisiin perustuen on todettua, että tarkasteltavan kelluvan lattian suurin paikallinen taipuma on 1,1 mm. Koska pintalaatan paikalliset taipumat ovat pienet kelluvan lattian muodonmuutoksiin nähden, pintalaatan osuus taipumassa on merkityksetön. Suuren paikallisen taipuman perusteella lattia kuuluu värähtelyluokkaan E. Jos koko lattia halutaan lattiapalkkien kokonaistaipuman mukaiseen värähtelyluokkaan B, kelluvaa lattiaa ei tulisi käyttää tai se olisi suunniteltava huomattavasti jäykemmäksi.

Ilman kelluvan lattian muutoksia lattia kuuluu värähtelyluokkaan E eikä siten taulukon 2 perusteella sovellu asuin- ja toimistorakennuksiin.

ESIMERKKI 2: Esimerkin 1 lattiarakennetta on käytetty kuvan mukaisesti molempiin suuntiin jatkuvana rakenteena toimistorakennuksen välipohjassa. Lattiapalkit tukeutuvat IPE 400 pääkannattamiin. Välipohjan uloimmat reunat tukeutuvat kantaviin seiniin. Lattia toimii liittorakenteena myös pääkannattimien kanssa. Arvioidaan lattian värähtelyluokka:

- ilman kelluvaa lattiaa ja
- kelluvan lattian kanssa



Suunnittelutiedot:

Lisätietoja esimerkkiin 1:

Lattian pääkannattamien jäykkyys
leveysyksikköä kohden. Sisältää pintalaatan
tehollisen osan (max 0,4l)

$$EI_L := 15.9 \cdot 10^6 \cdot \frac{N \cdot m^2}{m}$$

Lattian kokonaismassa: $m_L := m_l + \frac{66.3 \frac{kg}{m}}{l}$

$$m_L = 209 \frac{kg}{m^2}$$

Pääkannattimen jänneväli:

$$L := b$$

Välipohjan kokonaisleveys on lattiapalkkien suunnassa $3l$ ja pääkannattimien suunnassa $3L$.

a) Värähtelyluokka ilman kelluvaa lattiaa

Ominaistaajuuden laskenta

Esimerkistä 1 saadaan:

$$f_{0,l} := f_{0,y} \qquad f_{0,l} = 9.9 \text{ Hz}$$

Lausekkeiden (4) ja (5) mukaan:

$$f_{0,L} := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_L}} \qquad f_{0,L} = 7.7 \text{ Hz}$$

$$f_0 := \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{0,l}^2} + \frac{1}{f_{0,L}^2}}} \qquad f_0 = 6.1 \text{ Hz}$$

Koska alin ominaistaajuus on alle 10 Hz, välipohjaa on tarkasteltava matalataajuuksisena lattiana, jolloin on tarkistettava yhden ihmisen kävelystä aiheutuva lattian rungon kiihtyvyys.

Värähtelyluokka kiihtyvyysehdon mukaan

Tehollinen osalattian leveys on lausekkeen (12) mukaan:

$$b_{ef} := 2.0 \cdot \left(\frac{EI_b}{EI_l} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot l \qquad \frac{b_{ef}}{3 \cdot L} = 0.221$$
$$b_{eff} := \text{if} \left(\frac{b_{ef}}{3 \cdot L} < \frac{2}{3}, b_{ef}, \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot L \right) \qquad b_{eff} = 4.96 \text{ m}$$

Tehollinen koko lattian leveys on lausekkeen (15) mukaan:

$$l_{ef} := 1.6 \cdot \left(\frac{EI_l}{EI_L} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot L \qquad \frac{l_{ef}}{3 \cdot l} = 0.597$$
$$l_{eff} := \text{if} \left(\frac{l_{ef}}{3 \cdot l} < \frac{2}{3}, l_{ef}, \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot l \right) \qquad l_{eff} = 13.44 \text{ m}$$

Värähtelyssä mukana oleva lattian tehollinen massa on lausekkeiden (11), (13) ja (14) mukaan:

$$\begin{aligned}
W_l &:= m_l \cdot b_{eff} \cdot l & W_l &= 7.4 \times 10^3 \text{ kg} \\
W_L &:= m_L \cdot l_{eff} \cdot b & W_L &= 21.0 \times 10^3 \text{ kg} \\
W &:= \frac{W_l}{1 + \frac{f_{0,l}^2}{f_{0,L}^2}} + \frac{W_L}{1 + \frac{f_{0,L}^2}{f_{0,l}^2}} & W &= 15.9 \times 10^3 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kiihtyvyyssamplitudin suuruus arvioidaan lausekkeen (10) mukaan:

$$\begin{aligned}
R &:= 0.7 & P &:= 800 \text{ N} & \zeta &:= 0.03 \\
a &:= \frac{R \cdot P}{W \cdot \zeta} \cdot 0.83 \cdot e^{-0.35 \cdot \left(\frac{f_0}{1 \text{ Hz}} \right)} & a &= 0.116 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}
\end{aligned}$$

Kun oletetaan, että huoneen suurin pituus tai leveys on vähintään sama kuin lattian jänneväli, taulukossa 1 esitettyjä lattian rungon kiihtyvyyssrajoja ei voida korottaa.

Koska laskettu kiihtyvyyssamplitudi on suurempi kuin $0,075 \text{ m/s}^2$, mutta pienempi kuin $0,12 \text{ m/s}^2$, lattia kuuluu rungon värähtelyn perusteella taulukon 1 mukaan värähtelyluokkaan D. Lattia ei tarkastelun perusteella sovellu normaaleihin asuin- ja toimistorakennuksiin (taulukko 2). Lattian värähtelyominaisuuksia voidaan parantaa parhaiten lisäämällä lattian pääkannattimien ja lattiapalkkien jäykkyyttä sekä lattian massaa. Vaihtoehtoisesti voidaan yrittää tehdä lattiasta korkeataajuuksinen lattia, jolloin lisätään lattian jäykkyyttä, mutta lattian massaa pienennetään.

b) Värähtelyluokka kelluvan lattian kanssa

Värähtelyluokka paikallisen taipuman mukaan

Värähtelyluokan arviointi on esitetty esimerkissä 1. Tarkastelu on riippumaton siitä, onko lattia matala- vai korkeataajuuksinen. Paikallisen taipuman perusteella kelluva lattia kuuluu värähtelyluokkaan E eikä se siten taulukon 2 perusteella sovellu asuin- ja toimistorakennuksiin.