

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:

Unto Kalamies
Teräsrakenneyhdistys r.y.
Eteläranta 10, 00131 HELSINKI
puh. 09 - 1728 4449, fax. 09 - 1728 4444

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, joiden kuormitus- ja vaatimustaso poikkeaa edellä esitetystä, tai tiloihin, joiden värähtely aiheutuu koneista.

Teräsrakenneyhdistyksen Normitoimikunta on käsitellyt ja hyväksynyt 17.1.2000 Teräsnormikortin ja todennut sen täyttävän RakMK:n teräsrakenteita koskevien ohjeiden vaatimukset. Teräsnormikortin käyttäjällä on vastuu kortin ohjeiden käytöstä.

Tämä Teräsnormikortti on voimassa toistaiseksi.

Helsingissä helmikuun 1. päivänä 2000

TERÄSRAKENNEYHDISTYS R.Y.

Pertti Sandberg
puheenjohtaja

Kai Rätty
toimitusjohtaja

SYMBOLILUETTELO

a_{\max}	[m/s ²]	ihmisen kävelystä aiheutuva laskettu kiihtyvyys
a_{sall}	[m/s ²]	suurin sallittu kiihtyvyys
b	[m]	lattian leveys
b_{eff}	[m]	lattian värähtelevän osan tehollinen leveys
$e=2,718$	[-]	Neperin luku
f_o	[Hz]	lattian alin ominaistajuus
g	[m/s ²]	painovoiman kiihtyvyys
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 jäykkyys $E_L \cdot I_L$
W	[N]	värähtelyssä mukana olevan lattian osan tehollinen paino
δ_{\max}	[m]	pistevoimasta 1 kN aiheutuva suurin staattinen taipuma
δ_{sall}	[m]	suurin sallittu staattinen taipuma
ζ	[-]	vaimennussuhde

1 Yleistä

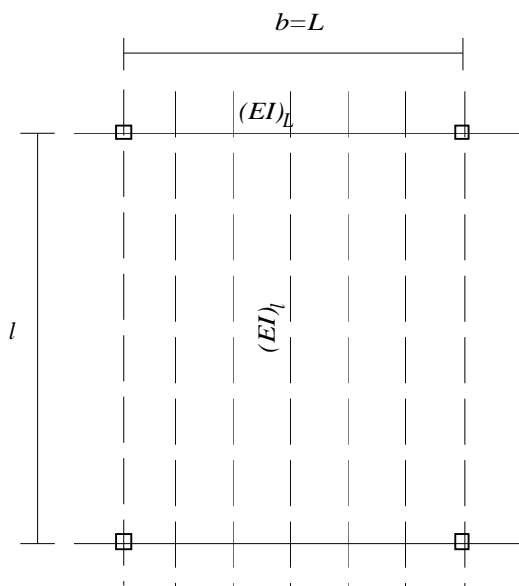
Ihmisen keho ja monet esineet ovat erittäin herkkiä lattioiden värähtelyille. Keho voi aistia pienetkin värähtelyt epämiellyttävinä. Huonekaluihin, astioihin tai kasveihin siirtyvä värähtely voi aiheuttaa haitallista ääntä tai liikettä.

Kävely sisältää sekä jaksottaisia että iskumaisia komponentteja. Matalin jaksottainen kuormitus tapahtuu kävelytaajuudella 1,6-2,2 Hz, mutta kuormituskomponentteja esiintyy myös tämän taajuuden toisella ja kolmannella moninkerralla 3,2-8,8 Hz. Kävelystä aiheutuva lattian värähtely voi muodostua huoneessa haitalliseksi, jos kävelyn jaksolliset kuormituskomponentit vahvistuvat liiaksi resonanssi-ilmion vuoksi, jos kantapään isku lattiaan aiheuttaa liian suurta värähtelyä, tai jos lattia notkuu liiaksi askelten alla. Yleensä kävelevä henkilö itse ei tunne aiheuttamia värähtelyjä, vaikka muut ympärillä olevat ihmiset voivat pitää häiriötä hyvinkin epämiellyttävänä.

Resonanssi-ilmiotä pidetään mitoituksessa määräävänä, jos välipohjan värähtelyn alin ominaistaajuus on alle 8 Hz. Jos taajuus on tätä suurempi, notkuminen tai värinä muodostuu mitoituksessa määrääväksi. Matalat ominaistaajuudet ovat tyypillisiä raskaille ja korkeat ominaistaajuudet kevyille välipohjille. Määräävän tekijän vaihtumisen vuoksi mitoituksessa on epäjatkuvuutta 8 Hz:n kohdalla.

Seuraavassa esitetty menetelmä perustuu VTT:llä tehtyyn kirjallisuustutkimukseen (1996-1997) sekä kevyillä välipohjilla suoritettuihin kokeisiin (1998-1999). Esitettävät kriteerit täyttävien lattioiden värähtelyitä pidetään yleensä samassa tilassa olevien mielestä hyväksyttävänä. Huoneistosta toiseen siirtyvien värähtelyiden estämiseksi suositellaan värähtelyitä siirtävien rakenteiden katkaisua.

Esitetty menetelmä antaa yksinkertaiset laskentayhtälöt suorakaiteen muotoiselle lattian osalle, joka voi olla myös osa suurempaa väli- tai alapohjaa (kuva 1).



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

2 Lattian alin ominaistajuus

Yksinkertaisen neljältä sivulta tuetun suorakaiteen muotoisen lattian alin ominaistajuus lasketaan lausekkeesta

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

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 .

Useissa tapauksissa lattiapalkkien suuntaisella reunan tuennalla ei ole merkitystä ominaistajuuteen. Tällöin ominaistajuus voidaan laskea lausekkeesta

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

Lauseke (2) 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

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{0,l}^2} + \frac{1}{f_{0,L}^2}}}, \quad (3)$$

jossa $f_{0,l}$ lasketaan lausekkeesta (1) ja pääkannattimen ominaistajuus lausekkeesta

$$f_{0,L} = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}. \quad (4)$$

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

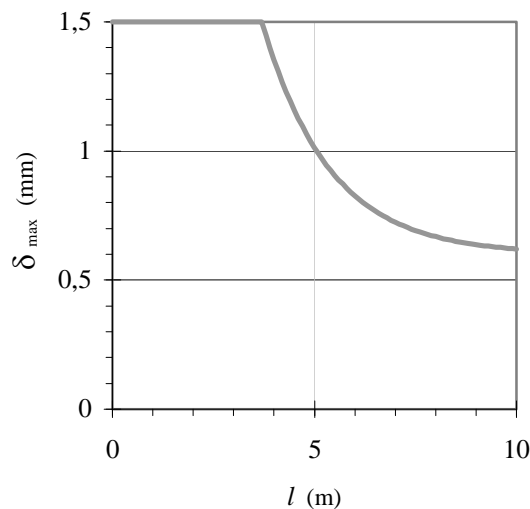
3 Taipumakriteeri korkeataajuuksisille lattioille

Jos lattian alin ominaistajuus on yli 8 Hz, pistekuormasta 1 kN aiheutuvan staattisen taipuman on täytettävä ehto (CCMC 1998)

$$\delta_{\max} \leq \delta_{\text{sall}} \quad (5)$$

$$\delta_{\text{sall}} = 0,6 + 2,5 \cdot e^{-0,6(l-2)}, \text{ mutta } \delta_{\text{sall}} \leq 1,5 \text{ mm} \quad (6)$$

Tekijä $e = 2,718$ (Neperin luku) ja l on lattian jännemitta metreinä. Ehto on esitetty graafisesti kuvassa 1.



Kuva 1. Taivutusahto (6) graafisesti esitettynä.

Yleisenä periaatteena on, että taivuman suuruus tarkistetaan kehältä, jonka säde on 600 mm pistekuorman vaikutuspisteestä. Lattialaatan tai kelluvan lattian pintalevyn paikallinen taivuma yksinään ei saa kuitenkaan ylittää arvoa 1,5 mm. Yleensä, jos lattiapalkkien väli on enintään 600 mm, pintalevyn paikallista taivumaa ei tarvitse ottaa huomioon kokonaistaivumassa. Tällöin taivuma voidaan arvioida neljältä sivulta tuetun suorakaiteen muotoisen ortotrooppisen laatan taivumana. Voimasta $F = 1$ kN aiheutuva laatan keskipisteen taivuma on

$$\delta_{\max} = \gamma \cdot \frac{Fl^2}{(EI)_l}, \quad \text{jossa} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{4}{\alpha\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{1}{(2m-1)^4 + \beta \left(\frac{2n-1}{\alpha}\right)^4}; \quad \alpha = \frac{b}{l} \quad \text{ja} \quad \beta = \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \quad (8)$$

Useissa tapauksissa lattiapalkkien suuntaisella reunan tuennalla ei ole merkitystä taivumaan. Tällöin lausekkeen (8) sijaan voidaan käyttää lauseketta

$$\gamma = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \quad (9)$$

Lausekkeiden (8) ja (9) 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 lattiapalkit tukeutuvat pääkannattimiin, taivumaan on lisättävä pääkannattimien taivuma.

4 Kiihtyvyysskriteeri matalataajuuksisille lattioille

Jos laskettu ominaistajuus f_0 on 3-8 Hz, värähtelyn hyväksyttävyyys arvioidaan kiihtyvyysehdoista (AISC/CISC 1997)

$$a_{\max} \leq a_{\text{sall}} \quad (10)$$

$$a_{\max} = g \cdot \frac{P_0}{W} \cdot \frac{e^{-0,35f_0}}{\zeta} \quad (11)$$

$$a_{\text{sall}} = 0,05 \text{ m/s}^2 \quad (12)$$

jossa $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $P_0=290 \text{ N}$ ja $e = 2,718$. Alle 3 Hz:n ominaistajuudet eivät ole sallittuja. Lausekkeessa (11) 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 $\zeta=0,02$.

Värähtelyssä mukana oleva tehollisen lattian osan paino W arvioidaan lausekkeella

$$W = mg \cdot b_{\text{eff}} l, \quad \text{jossa} \quad (13)$$

$$b_{\text{eff}} = 2,0 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4} \cdot l, \quad (14)$$

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

Jos suorakaiteen muotoinen lattia on toiselta lattiapalkin suuntaiselta reunaltaan tukematon, lausekkeessa (13) käytetään kertoimen 2,0 sijasta kerrointa 1,0 (AISC/CISC 1997).

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

$$W = \frac{W_l}{1 + f_{0,l}^2 / f_{0,L}^2} + \frac{W_L}{1 + f_{0,L}^2 / f_{0,l}^2}, \quad (15)$$

jossa W_l saadaan suoraan lausekkeista (13) ja (14).

$$W_L = mg \cdot l_{\text{eff}} L, \quad \text{jossa} \quad (16)$$

$$l_{\text{eff}} = 1,6 \cdot \left[\frac{(EI)_l}{(EI)_L} \right]^{1/4} \cdot L, \quad (17)$$

mutta l_{eff} saa kuitenkin enintään arvon 2/3 pääkannattamiin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaisleveydestä. Jos pääkannatin sijaitsee lattian vapaassa reunassa, lattian

jäykkyyttä $(EI)_L$ pienennetään 50 prosentilla.

5 Lähdeluettelo

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

CCMC. 1998. Development of design procedures for vibration controlled spans using engineered wood members. Draft of Concluding report. Canadian Construction Materials Centre. 39 s.

Kortesmaa, M. 1981. Puurakenteisen ala- ja välipohjan toimintavaatimukset ja rakenneratkaisut (julkaisematon käsikirjoitus). Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 80 s.

Kullaa, J., Talja, A. 1999. Vibration performance tests on light-weight steel joist floors. ICSAS'99 - Fourth International Conference on Steel and Aluminium Structures, Espoo, 20-23. 6. 1999 . 8 s.

Talja, A. 1996. Teräsrunkoisten välipohjien värähtelyjen hallinta. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. (VTT Tiedotteita 1790). 64 s. + liitt. 14 s.

Talja, A. 1998. Keveiden rakenteiden värähtelyjen estäminen. Rakentajain Kalenteri 1999. Helsinki: Rakennustieto Oy. S. 119-126.

Talja, A. 1999. Uutta tutkimustietoa lattioiden värähtelyistä. Teräsrakenne 1/99, Vol. 22, s. 32-33.

Talja, A., Kullaa, J. 1998. Vibration tests for light-weight steel-joist floors - Subjective perceptions of vibrations and comparisons with design criteria. Teräsrakenteiden tutkimus- ja kehityspäivät, Lappeenranta 25-26.8. 1998. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys r.y. 14 s.