



# Lattian värähtelysuunnittelu eri suunnitteluohjeilla

Vertailu standardin SFS-EN 1995-1-1(2014) ja FprEN 1995-1-1(2024) välillä

Santeri Härkönen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2025

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

HÄRKÖNEN, SANTERI:

Lattian värähtelysuunnittelu eri suunnitteluohjeilla  
Vertailu standardin SFS-EN 1995-1-1(2014) ja Fpr-EN 1995-1-1(2024) välillä

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 20 sivua  
Toukokuu 2025

---

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, miten tulevan Eurokoodi 5:n eli FprEN 1995-1-1(2024) mukainen värähtelysuunnittelu vaikuttaa puurakenteisiin lattioiden suunnitteluun tulevaisuudessa ja verrataan sitä nykyiseen käytössä olevaan standardiin SFS-EN 1995-1-1(2014) ja Suomen kansallisiin liitteisiin. Tutkimus on rajattu kävelyistä aiheutuvaan värähtelyyn asuin- ja toimistorakennuksissa.

Tutkimus koostui vertailulaskelmista ja kirjalliskatsauksesta. Työssä käsitellään teoriaa värähtelyn perusteista ja lattiarakenteiden värähtelystä sekä värähtelymitoitus SFS-EN 1995-1-1(2014) ja kansallisen liitteen lisäohjeen NCCI 2 mukaan ja tulevan Eurokoodi 5:n (FprEN 1995-1-1(2024)) mukaan. Työssä esitellään vertailulaskelmien lähtötiedot sekä tulokset. Vertailulaskelmat suoritettiin erityyppisille välipohjarakenteille 6 metrin jännevälillä teoriaosuuden mukaisilla mitoitusohjeilla.

Tämän opinnäytetyön teoriaosuuden ja vertailulaskelmien perusteella saatiin selville, että Suomessa käytettävän nykyisen standardin SFS-EN 1995-1-1(2014) ja FprEN 1995-1-1(2024) värähtelymitoitusohjeen huomattavimmat erot olivat, että FprEN 1995-1-1(2024) antaa standardiin SFS-EN 1995-1-1(2014) verrattuna mahdollisuuden tarkempaan värähtelysuunnitteluun ja laajemman lattiarakenteiden valintamahdollisuuden perustuen haluttuun laatuun värähtelyn suhteen.

FprEN 1995-1-1(2024) ei ole tällä hetkellä vielä julkaistu eikä otettu käyttöön. Tulevaan Eurokoodi 5:een voi vielä tulla muutoksia ja sen käyttö vaatii kansalliset liitteet ennen käyttöönottoa. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla värähtelymitoituksen uusi tutkiminen, kun tulevan Eurokoodi 5:n lopullinen versio ja sen Suomen kansalliset liitteet on julkaistu.

---

Asiasanat: värähtely, puurakenteet, eurokoodi, mitoitus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

HÄRKÖNEN SANTERI:

Floor Vibration Design with Different Design Guides

Comparison between Standard SFS-EN 1995-1-1(2014) and FprEN 1995-1-1(2024)

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 20 pages  
May 2025

---

The purpose of this thesis was to find out how the new Eurocode 5 (FprEN 1995-1-1(2024)) will affect timber floor structure design in the future and compare it to the current Eurocode 5 (SFS-EN 1995-1-1(2014)) and Finnish National Annex. This study is restricted only to human induced floor vibrations in residential- and office buildings.

This thesis consists of a theory section and comparison calculations between SFS-EN 1995-1-1(2014) and FprEN 1995-1-1(2024). The theoretical section of this thesis consists of the basics of vibration, vibration in timber floor structures and the vibration design instructions according to SFS-EN 1995-1-1(2014) and Finnish National Annex and according to FprEN 1995-1-1(2024). This thesis presents information about different types of floor structures used in comparison calculations with a span of six meters and the results of the comparison calculations.

As a result of this thesis it was found that FprEN 1995-1-1(2024) offers more precise vibration design instructions compared to SFS-EN 1995-1-1(2014). FprEN 1995-1-1(2024) also gives a wider selection of floor structures to choose from depending on what floor performance level is wanted.

FprEN 1995-1-1(2024) is not published yet and it requires National Annex before taking it into use. A potential future study could be re-evaluation of vibration design once the new Eurocode 5 and its National Annex have been published.

---

Key words: vibration, eurocode, design, timber

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO .....  | 5  |
| 2 | VÄRÄHTELY PUURAKENTEISSA LATTIOISSA .....                         | 6  |
|   | 2.1 Värähtelyn perusteet ja lattian dynaamiset ominaisuudet ..... | 6  |
|   | 2.2 Jako korkea- ja matalataajuuksiin lattioihin .....            | 8  |
| 3 | VÄRÄHTELYMITOITUS .....   | 10 |
|   | 3.1 Standardi SFS-EN 1995-1-1(2014) ja kansallinen liite .....    | 10 |
|   | 3.1.1 Alin ominaistuuksuus.....                                   | 10 |
|   | 3.1.2 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama painuma .....        | 12 |
|   | 3.2 FprEN 1995-1-1(2024) .....                                    | 13 |
|   | 3.2.1 Alin ominaistuuksuus.....                                   | 14 |
|   | 3.2.2 Taipuma .....   | 15 |
|   | 3.2.3 Nopeus .....  | 17 |
|   | 3.2.4 Kiihtyvyys .....  | 19 |
|   | 3.2.5 Lattioiden suoritustasoluokat värähtelyn suhteen .....      | 20 |
| 4 | VERTAILULASKELMAT .....   | 22 |
|   | 4.1 Vertailtavat välipohjarakenteet .....                         | 22 |
|   | 4.2 Tulokset .....  | 24 |
| 5 | POHDINTA .....  | 29 |
|   | LÄHTEET.....  | 31 |
|   | LIITTEET .....  | 33 |
|   | Liite 1. Vertailulaskelmat.....                                   | 33 |

## 1 JOHDANTO

Suomessa eurokoodien käyttö alkoi virallisesti vuonna 2007 ja tällä hetkellä täydelliset päivitetty kansalliset liitteet ovat tulleet käyttöön 2016 (RIL 205-1-2017, 3). Kaikki rakenteiden suunnittelun eurokoodit ovat tällä hetkellä uudistuksen kohteena ja tulevat eurokoodit, ns. toisen sukupolven eurokoodit, tulee käyttöön arvioilta vuoteen 2027 mennessä (Eurokoodi Help Desk. 2021).

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan värähtelymitoitusta nykyisen ja tulevan Eurokoodi 5:n välillä. Nykyisen Eurokoodi 5:n mukainen värähtelymitoitus tehdään RIL 205-1-2017 värähtelysuunnittelumenetelmän mukaan, mikä täyttää tällä hetkellä voimassa olevan Eurokoodi 5:n eli standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 7.3.3 ja Suomen kansallisen liitteen lisäohjeen NCCI 2 esittämät kriteerit. Tuleva Eurokoodi 5 eli FprEN 1995-1-1(2024) ei ole vielä julkaistu, joten tässä opinnäytetyössä esitetyt FprEN 1995-1-1(2024):n värähtelymitoitusmenetelmiä ei tulisi käyttää lattioiden värähtelysuunnittelussa tällä hetkellä.

Välipohjarakenteiden mitoituksessa usein värähtely on määräävä tekijä välipohjarakenteiden valintaan. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tuoda esille, miten FprEN 1995-1-1(2024) värähtelymitoitusohjeet eroavat standardin SFS-EN 1995-1-1 ja Suomen kansallisen liitteen värähtelymitoitusohjeista ja miten se vaikuttaa lattiarakenteiden valintaan.

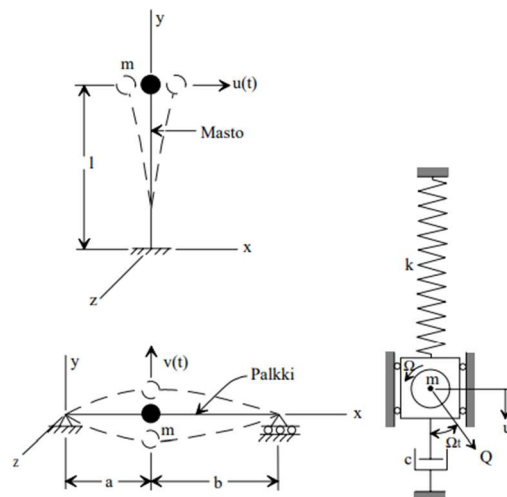
Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain kävelystä aiheutuvaan lattioiden värähtelyyn, eikä vertailulaskelmien välipohjarakenteita mitoiteta muille käyttö- tai murtorajatilan rasituksille.

## 2 VÄRÄHTELY PUURAKENTEISSA LATTIOISSA

### 2.1 Värähtelyn perusteet ja lattian dynaamiset ominaisuudet

Värähtely on mekaanisen systeemin, kuten esimerkiksi rakenteen, liikettä sen tasapainoasemansa ympärillä (Pennala 1999, 11). Kun massan liikettä kuvataan ajan funktiona, kuvaaja muodostaa harmonisen käyrän. Kyseisellä käyrällä on oma amplitudi ja taajuus. Amplitudi on massan suurin etäisyys sen tasapainoasemapisteestä. Taajuus kuvaa värähtelyjen lukumäärää aikayksikössä, joka on normaalisti yksi sekunti, ja sen yksikkö on hertsi (Hz). Vaimennus poistaa energiaa värähtelystä johtuvasta liikkeestä, jonka vuoksi värähtely vaimenee (Pennala 1999, 18). Jos systeemissä ei olisi vaimennusta ollenkaan, värähtely jatkuisi eikä systeemi palaa vakiotilaansa (Pennala 1999, 21).

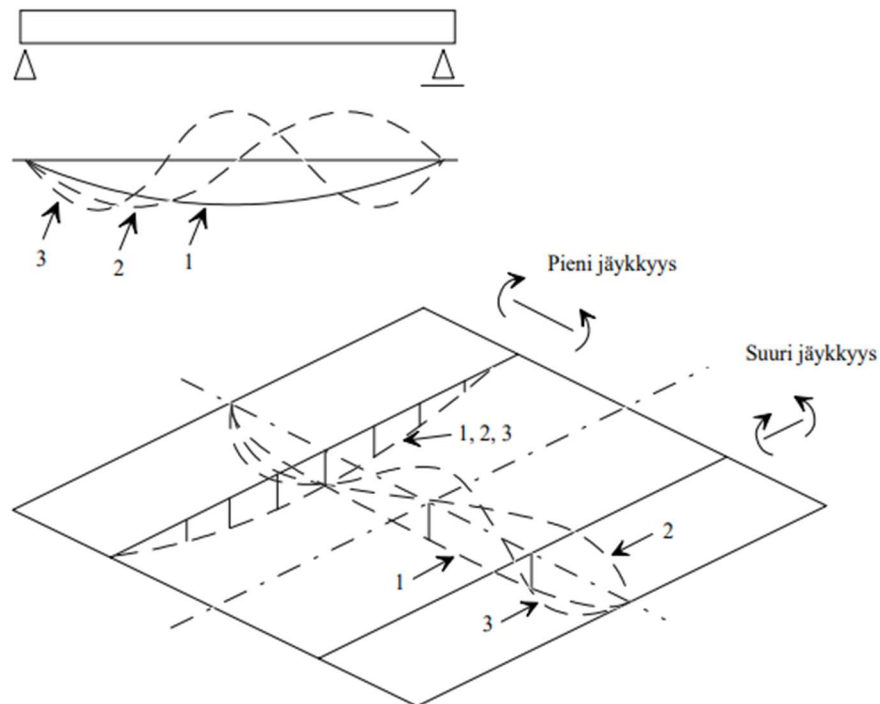
Usein rakenteiden käyttäytyminen kuvataan yhden vapausasteen värähtelyinä. Kuvassa 1 on yksinkertainen havainnollistava esitys rakenteen toiminnasta yhden vapausasteen värähtelyn suhteen, missä  $m$  on massa,  $c$  kuvaa rakenteen vaimennusta ja rakenteen jäykkyyttä kuvataan jousella  $k$ . (Talja 1996, 17.)



KUVA 1. Rakenteiden kuvaus yhden vapausasteen värähtelymallilla (Talja 1996, 17).

Todellisuudessa lattiarakenteiden värähtely on monen vapausasteen värähtelyä, sillä lattiarakenteet yleensä muodostuvat useasta laattamaisesta tai palkkimai-

sesta osasta, jolloin lattiarakenteen jäykkyys vaihtelee poikittais- ja pitkittäissuunnassa. Lattiarakenteen sisäiset jäykkyyserot ja eri massapisteen muodostavat useita erilaisia ominaisvärähdysmuotoja. (Talja 1996, 27.) Ominaisvärähdysmuotojen määrittelyyn vaikuttaa massan ja jäykkyyden lisäksi lattian geometria ja tuenta (Jarnerö 2014, 5). Kuvassa 2 on esitetty yleisten lattiarakenteiden kolme alinta ominaisvärähdysmuotoa, joista ensimmäinen ominaisvärähdysmuoto kuvaa lattian alinta ominaistaajuutta.



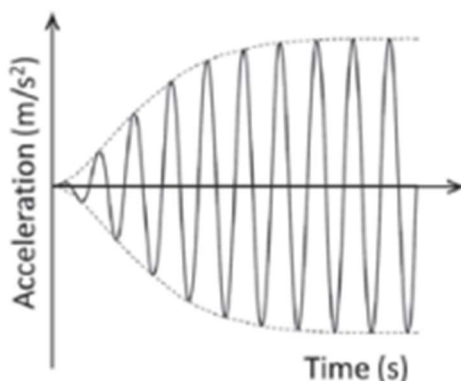
KUVA 2. Palkin ja ortotrooppisen laatan kolme alinta ominaisvärähdysmuotoa (Talja 1996, 27).

Lattiarakenteen tärkeimpinä dynaamisina ominaisuuksina voidaan pitää massaa, jäykkyyttä ja vaimennusta. Massan ja jäykkyyden suhteen merkitys on huomattava alinta ominaistaajuutta selvittäessä. Puurakenteilla on yleensä isompi massa-jäykkyys-suhte kuin esimerkiksi betonirakenteilla, joten puurakenteilla on yleensä suurempi ominaistaajuus. (Jarnerö 2014, 5.) Palkkilattiarakenteella jäykkyys on huomattavasti suurempi kantavaan suuntaan kuin poikittaiseen suuntaan. Poikittaista jäykkyyttä voidaan kasvattaa poikittaisjäykisteillä tai vaihtamalla laattamaiseen rakenteeseen, kuten esimerkiksi CLT:hen.

Lattiarakenteen vaimennusta on vaikea arvioida, sillä siihen vaikuttaa niin moni tekijä (Jarnerö 2014, 7). Vaimennukseen vaikuttaa eniten rakennekerrosten välinen kitka sekä rakenneosien liitokset. Muita vaimennukseen vaikuttavia tekijöitä ovat tuenta, rakenteen jänneväli, sijainti rakennuksessa sekä ei-rakenteelliset tekijät, kuten esimerkiksi väliseinät, huonekalusteet ja lasketut alakatot. (Jarnerö 2014, 8.)

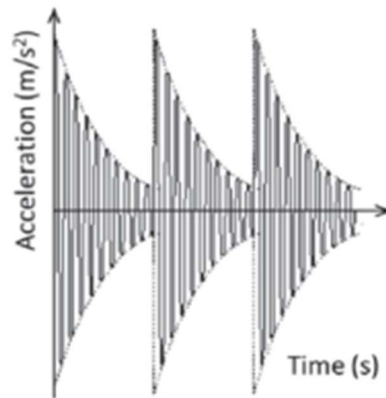
## 2.2 Jako korkea- ja matalataajuuksiin lattioihin

Lattiarakenteet voidaan jakaa matalataajuus- ja korkeataajuuslattioihin värähtelyn suhteen. Matalataajuuslattiat ovat yleensä massaltaan raskaampia rakenteita ja niillä on suurempi jänneväli. Myös keskiraskaat rakenteet voivat olla ominaistajuudeltaan matalataajuuslattioita, kun niiden jänneväli on tarpeeksi suuri. (Talja 1996, 28.) Matalataajuuslattioiden ominaistajuus on alle 8 Hz (Talja 1996, 28), mutta raja-arvo vaihtelee eri kirjallisuuden välillä 7–10 Hz. Kävelyheräte sisältää iskumaisia ja jaksollisia komponentteja. Kävelystä aiheutuvan matalimman jaksottaisen kuormituksen taajuus on 1,6–2,2 Hz, mutta kuormituskomponentteja esiintyy myös taajuudella 3,2–8,8 Hz toisella ja kolmannella monikerralla. (Talja, Toratti & Järvinen 2002, 9.) Matalataajuuslattioilla jokin edellä mainituista taajuuksista resonoi lattian ominaistajuuden kanssa, joten matalataajuuslattioilla värähtelyä hallitsee ominaistajuus. Alla olevassa kuvassa on esitetty resonanssivärähtely lattioissa.



KUVA 3. Tasaisen kävelyn aiheuttama lattian resonanssivärähtelyvaste (Jarnerö 2014, 14).

Korkeataajuuslattioiden ominaistajuus on yli 8 Hz ja ne ovat yleensä massaltaan kevyitä tai keskiraskaita. Korkeamman ominaistajuuden takia, askelkuormitusten taajuudet eivät pääse resonoimaan lattian ominaistajuudella, vaan määräväksi tekijäksi tulee kantapään iskusta aiheutuva lattian taipuma tai värinä. (Talja 1996, 28). Jokainen kantapään isku toimii lattian värähtelyn aloittajana ja värähtely vaimenee askelten välissä lattian vaimennuksen takia. Kuvassa 4 on havainnollistettu tämän tyyppistä värähtelyä.



KUVA 4. Tasaisen kävelyn aiheuttama lattian impulssivärähtelyvaste (Järnerö 2014, 14).

### 3 VÄRÄHTELYMITOITUS

#### 3.1 Standardi SFS-EN 1995-1-1(2014) ja kansallinen liite

Puurakenteiden värähtelymitoitus tehdään Eurokoodi 5:n eli standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan. Eurokoodissa esitetään arvoja, vaihtoehtoisia menettelytapoja ja luokitussuosituksia, joiden yhteydessä mainitaan, mitkä niistä voidaan kansallisesti valita (SFS-EN 1995-1-1 2014, 10). Suomessa kyseiset kansalliset valinnat julkaisee ympäristöministeriö Suomen rakennusmääräyskokoelmassa. Puurakenteiden suunnittelua koskevat kansalliset liitteet ovat julkaistu vuonna 2016 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016, 2).

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on julkaissut vuonna 2017 RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohjeen, joka antaa eurokoodien suunnitteluohjeet käyttäjäystävällisessä ja tiiviissä muodossa (RIL 205-1-2017, 3). Tässä opinäytetyössä värähtelymitoitus tehdään RIL 205-1-2017 esittämällä menetelmällä, joka täyttää kaikki standardissa SFS-EN 1995-1-1 ja kansallisessa liitteessä esitetyt kriteerit värähtelymitoituksen suhteen (RIL 205-1-2017, 99).

Käyttörajatilamitoituksessa on tarkastettava, että sauvan, rakenteen tai rakenneosan kuormat eivät aiheuta haitallista värähtelyä rakenteille tai käyttäjille. Värähtelytaso selvitetään laskemalla tai mittaamalla, ottamalla huomion tarkasteltavan rakenteen jäykkyys ja vaimennussuhde. Vaimennussuhteen arvona voidaan pitää arvoa  $\zeta = 0.01$  (1 %), jos muuta arvoa ei voida esittää oikeammaksi. (RIL 205-1-2017, 99.)

##### 3.1.1 Alin ominaistaajuus

Asuin- ja toimistohuoneistojen lattiarakenteen alimman ominaistaajuuden on oltava yli 9 Hz. Jos lattiarakenteen alin ominaistaajuus on alle 9 Hz, on suoritettava erityistarkastelu. (RIL 205-1-2017, 99.) Suunnitteluohjeessa ei määritellä tarkemmin, mikä tämä erityistarkastelu on.

Yhteen suuntaan kantavien lattiarakenteiden alin ominaistajuus saadaan lasket-  
tua kaavalla

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (1)$$

ja kahteen suuntaan kantavan lattiarakenteen alin ominaistajuus lasketaan kaa-  
valla

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

jossa kummassakin kaavassa  $l$  on lattiarakenteen jänneväli,  $b$  on lattiarakenteen  
leveys,  $(EI)_l$  on lattiarakenteen taivutusjäykkyys kantavaan suuntaan  $l$  leveysyk-  
sikköä kohti,  $(EI)_b$  on lattiarakenteen taivutusjäykkyys poikittaissuuntaan  $b$  le-  
veysyksikköä kohti ja  $m$  on lattian oma paino pinta-alayksikköä kohden, johon  
lisätään hyötykuormasta  $30 \text{ kg/m}^2$  osuus. (RIL 205-1-2017, 100.)

Värähtelymitoituksessa kahteen suuntaan kantavan lattiarakenteen voidaan olet-  
taa tukeutuvan poikittaisessa suunnassa väliseinään, jos se kiinnitetään ilman  
joustovaroja tai päätyseinään, johon kiinnitetään lattiarakenteen reunapalkit, koo-  
laukset tai pintalevyt. Lattian taivutusjäykkyyden laskemisessa voidaan hyödyn-  
tää lattiarakenteen kaikkia levytyksien, koolauksien ja kelluvan pintalaatan tuo-  
maa vaikutusta jäykkyyteen. Poikittaisjäykisteiden vaikutus huomioidaan lattian  
rakenteen poikittaissuunnan taivutusjäykkyydessä  $EI_b$ . (RIL 205-1-2017, 101.)

Jos lattiarakenne tukeutuu joustavaan tukeen molemmista reunoistaan, kuten  
esim. pääpalkkiin, tulisi tarkastella koko systeemin alin ominaistajuus. Euro-  
koodi 5:stä tai kansallisesta liitteestä ei löydy kaavaa systeemin alimman omi-  
naistajuuden laskemiseen, mutta VTT:n tiedotteesta 2124 kyseinen kaava löy-  
tyy, joka on esitetty kaavassa 3.

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

jossa  $f_{1,l}$  lasketaan kaavalla 1 ja pääkannattimen alin ominaistaajuus  $f_{1,L}$  lasketaan kaavalla

$$f_{1,L} = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}, \quad (4)$$

jossa  $(EI)_L$  on pääkannattimen ja pintalaatan yhdistetty taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden ja  $L$  on pääkannattimen jänneväli. (Talja, Toratti & Järvinen 2002, 21).

### 3.1.2 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama painuma

Asuin- ja toimistohuoneiston lattian alimman ominaistaajuuden ollessa yli 9 Hz, tulee tarkistaa 1 kN staattisen pistekuorman aiheuttama painuma. Suomessa kyseisen painuman suhteen täytyy seuraavan ehto täytyä.

$$k \cdot \delta \leq 0.5 \text{ mm},$$

jossa  $k$  on taipumarajoituksen korotuskerroin, joka huomioi huoneen koon ja  $\delta$  on 1 kN pistekuorman aiheuttama painuma lattiarakenteessa. (RIL 205-1-2017, 100.)

Lattiapalkin painuma 1 kN pistevoimasta voidaan laskea kaavalla

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot l^2}{42 \cdot k_\delta \cdot (EI)_l} \\ \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_l} \end{array} \right., \quad (5)$$

jossa  $s$  on lattiapalkkien jakoväli,  $k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}}$  rajoituksena  $k_\delta \leq \frac{b}{l}$  ja  $F$  on 1 kN pistevoima.

Kaavaa 5 voidaan soveltaa yhteen tai kahteen suuntaan kantavissa lattioissa. Kahteen suuntaan kantavia lattioita ei tarvitse rajoittaa tekijällä  $k_\delta$ . (RIL 205-1-2017, 101.)

Pienempien huonetilojen, joissa huoneen suurin sivumitta on alle 6 m, taipumajäykyyttä voidaan korottaa kertoimella

$$k = \frac{1}{0.314 + 0.114 \cdot L} \geq 1 \quad (6)$$

missä  $L$  on huoneen suurin sivumitta (RIL 205-1-2017, 100).

### 3.2 FprEN 1995-1-1(2024)

Kaikista Eurokoodeista on tulossa uudistettu versio ns. toisen sukupolven Eurokoodi. Osa toisen sukupolven Eurokoodeista on jo julkaistu ja ne, joita ei vielä ole julkaistu, tullaan julkaisemaan käänöksineen vuoteen 2027 mennessä. Eurokoodien uudistuksen ajatuksena on yksinkertaistaa suunnitteluohjeita. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä toisen sukupolven Eurokoodi 5 eli FprEN 1995-1-1(2024) odottaa tällä hetkellä loppuäänestystä. Myös kansalliset liitteet ovat parhaillaan valmistelussa ja ne tullaan julkaisemaan ympäristöministeriön ja Väyläviraston toimesta ennen uuden Eurokoodin käyttöönottoa. (Eurokoodi Help Desk 2021.)

Tarkasteltavalle lattialle tulee määrittää vaimennussuhdearvo. Tulevassa Eurokoodi 5:ssä on esitetty erityyppisille lattioille vaimennussuhteen  $\zeta$  arvot, joita voidaan käyttää, ellei jotain muuta arvoa voida osoittaa oikeammaksi. Tulevan Eurokoodi 5:n vaimennussuhteen arvot ovat palkkilattioilla  $\zeta = 0,02$ , kotelo- ja laattatyypisillä sekä puu-betoniliittorakenteisilla lattioilla  $\zeta = 0,025$ , palkkilattioilla,

joissa on kelluva pintalaatta  $\zeta = 0,03$  ja kotelo- ja laattatyypisillä sekä puu-betoniliittorakenteisilla lattioilla, joissa on kelluva pintalaatta  $\zeta = 0,04$ . (FprEN1995-1-1 2024, 142.)

### 3.2.1 Alin ominaistajuus

Yksi- ja kaksiaukkoisten lattiarakenteiden, jotka ovat pohjatasolla likimain suora-kaiteen muotoisia ja tuettu yhteen tai kahteen suuntaan jäykille niveltuille sekä niille tuleva kuormitus on pääosin tasaista, voidaan laskea alin ominaistajuus  $f_1$  kaavalla (FprEN1995-1-1 2024, 146).

$$f_1 = k_{e.1} \cdot k_{e.2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}, \quad (7)$$

jossa  $k_{e.1}$  on kerroin, joka huomioi lattian moniaukkoisuuden (yksiaukkoisilla lattioilla  $k_{e.1} = 1$ ),  $k_{e.2}$  on kerroin, joka huomioi lattian poikittaissuuntaisen jäykkyyden vaikutuksen (yhteen suuntaan kantavilla lattioilla  $k_{e.2} = 1$ ),  $l$  on jänneväli kantavaan suuntaan (pidempi sivumitta, jos lattia on kantava kahteen suuntaan),  $b$  on lattian leveys,  $(EI)_L$  on lattian kantavan suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden ja  $m$  on lattian oman painon ja pysyvien kuormien massa ja lisämassa, joka vastaa 10 % hyötykuormasta, yhteenlaskettuna. (FprEN1995-1-1 2024, 146.)

Kerroin  $k_{e.2}$  lasketaan kaavalla

$$\sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{EI_T}{EI_L}}. \quad (8)$$

Kerroin  $k_{e.1}$  saadaan taulukosta 1, jossa  $l$  on suurempi jänneväli ja  $l_2$  on lyhyempi jänneväli.

TAULUKKO 1. Kertoimen  $k_{e.1}$  määrittäminen kaksiaukkoisille lattiarakenteille (FprEN1995-1-1 2024, 147).

|           |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $l_2 / l$ | 1,0 | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  |
| $k_{e.1}$ | 1,0 | 1,09 | 1,16 | 1,21 | 1,25 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,41 |

Lattian ominaistaajuus voidaan vaihtoehtoisesti laskea kaavalla 9, joka mahdollistaa useamman taipumaan vaikuttavan tekijän huomioimisen, kuten esimerkiksi lattioilla, jotka tukeutuvat yhteen tai useampaan ei-jäykkään tukeen.

$$f_1 = k_{e.1} \cdot k_{e.2} \cdot \frac{18}{\sqrt{w_{sys}}}, \quad (9)$$

jossa  $w_{sys}$  on koko lattiarakenteen taipuma, jossa huomioidaan tukipalkkien, leikkausvoimien ja liittorakenteiden tuomat vaikutukset, massan  $m$  kuormituksen alaisena. Jos  $w_{sys}$  laskennassa otetaan huomioon lattian poikittaissuuntainen jäykkyys niin  $k_{e.2} = 1.0$ . (FprEN1995-1-1 2024, 146.)

Systemin alin ominaistaajuus, jossa yksiaukkoisen lattia tukeutuu joustavasti primääripalkkiin toisesta tai molemmasta päästä lasketaan kaavalla

$$f_1 = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{1.rigid}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{1.beam.1}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{1.beam.2}^2}}}, \quad (10)$$

jossa  $f_{1.rigid}$  on lattian ominaistaajuus, joka lasketaan kaavalla 7,  $f_{1.beam.1}$  on lattiaa kantavan palkin ominaistaajuus yhdessä päässä, joka lasketaan kaavalla 7 tai 9 ja  $f_{1.beam.2}$  on lattiaa kantavan palkin ominaistaajuus toisessa päässä, joka lasketaan kaavalla 7 tai 9. (FprEN1995-1-1 2024, 148.)

### 3.2.2 Taipuma

Suurin pystysuuntainen 1 kN pistevon aiheuttama taipuma lattiassa  $w_{1kN}$  lasketaan tilanteessa, jossa 1 kN staattinen pistevon sijaitsee lattiarakenteen suurinta taipumaa aiheuttavassa kohdassa tehollisella leveydellä  $b_{ef}$ . Yksiaukkoisen

lattian suurin taipuma, jossa 1 kN staattinen pistevoima sijaitsee jännevälin keskellä, voidaan laskea kaavalla

$$w_{1kN} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_L \cdot b_{ef}}, \quad (11)$$

jossa  $F$  on 1 kN staattinen pistevoima,  $l$  on lattiarakenteen jänneväli,  $b_{ef}$  on lattian tehollinen leveys ja  $(EI)_L$  on lattian kantavan suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden. (FprEN1995-1-1 2024, 148.)

Lattian tehollinen leveys  $b_{ef}$  lasketaan lattialle, jolla on poikittaissuunnassa tasainen taivutusjäykkyys koko leveydeltään, kaavalla

$$b_{ef} = \min \left\{ 0.95 \cdot l \cdot \left( \frac{(EI)_T}{(EI)_L} \right)^{0.25}, b \right\}, \quad (12)$$

jossa  $l$  on lattian jänneväli kantavaan suuntaan,  $b$  on lattian leveys ja  $(EI)_T$  on lattian poikittaisen suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden (FprEN1995-1-1 2024, 148).

Lattioilla, joilla on jatkuva poikittainen jäykiste jännevälin keskellä mekaanisesti kiinnitettynä lattiapalkkeihin koko lattian leveydellä, lasketaan tehollinen leveys  $b_{ef}$  kaavalla

$$b_{ef} = \min \left\{ 1.07 \cdot l^{0.75} \cdot \left( \frac{EI + 0.63 \cdot l \cdot (EI)_T}{(EI)_L} \right)^{0.25}, b \right\}, \quad (13)$$

jossa  $EI$  on jatkuvan poikittaisjäykisteen taivutusjäykkyys (FprEN1995-1-1 2024, 149).

Suurin 1 kN pistevoiman aiheuttama taipuma lasketaan systeemille, jossa lattia tukeutuu joustavaan tukeen, kuten esimerkiksi primääripalkkiin, molemmista päistä kaavalla

$$w_{1kN} = 0.5 \cdot w_{beam.1} + w_{rigid} + 0.5 \cdot w_{beam.2}, \quad (14)$$

jossa  $w_{beam.1}$  on 0.5 kN pystysuuntaisen pistevoiman aiheuttama taipuma tuella yhdessä päässä,  $w_{beam.2}$  on 0.5 kN pystysuuntaisen pistevoiman aiheuttama taipuma tuella toisessa päässä ja  $w_{rigid}$  on lattian suurin taipuma, joka lasketaan kaavalla 11. (FprEN1995-1-1 2024, 149.)

### 3.2.3 Nopeus

Nopeuskriteeriä tarkasteltaessa tulee selvittää nopeuden tehollisarvo  $v_{rms}$  matala- ja korkeataajuuksisilla lattioilla (FprEN1995-1-1 2024, 150).

Keskimääräinen yksikköimpulssi  $I_{mod.mean}$  lasketaan kaavalla

$$I_{mod.mean} = \frac{42 \cdot f_w^{1.43}}{f_1^{1.3}}, \quad (15)$$

jossa  $f_w$  on kävelyherätteestä aiheutuva kävelytaajuus [Hz] ja  $f_1$  on lattiarakenteen ominaistaajuus [Hz] (FprEN1995-1-1 2024, 150).

Huippunopeusvasta  $v_{1,peak}$  alimmassa ominaistaajuudessa lasketaan kaavalla

$$v_{1,peak} = k_{red} \cdot \frac{I_{mod.mean}}{(M^* + 70)}, \quad (16)$$

jossa  $k_{red}$  on pienennyskerroin, jonka arvona voidaan käyttää  $k_{red} = 0.7$ .  $M^*$  on lattian ominaismassa [kg] ja  $I_{mod.mean}$  on keskimääräinen yksikköimpulssi [Ns]. (FprEN1995-1-1, 150.)

Lattian ominaismassa  $M^*$  lasketaan kaavalla 17 neljältä sivulta tuetulle lattialle. Kyseinen kaava tarjoaa myös yksinkertaistetun arvion ominaismassasta useimmille yksiaukkoisille lattiarakenteille, jotka tukeutuvat jäykkiin tai ei-jäykkiin tukiin, mukaan lukien lattiarakenteet, jotka katsotaan olevan tuettu kahdelta reunalta.

$$M^* = \frac{m \cdot l \cdot b}{4}, \quad (17)$$

jossa  $l$  on lattiarakenteen jänneväli,  $b$  on lattiarakenteen leveys ja  $m$  on lattiarakenteen paino pinta-alayksikköä kohden. (FprEN1995-1-1 2024, 150.)

Lattian ominaismassa kahdelta sivulta tuetuilla lattialla, jolla ei ole minkäänlaista kiinnitystä muihin rakenteisiin sen tukemattomilla reunoilla, lasketaan kaavalla 18 (FprEN1995-1-1 2024, 150).

$$M^* = \frac{m \cdot l \cdot b}{2} \quad (18)$$

Värähtelyn korkeammat ominaismuotojen vaikutus lattian vasteeseen huomioiva kerroin  $k_{imp}$  lasketaan kaavalla

$$k_{imp} = \max \left\{ 0.48 \cdot \left( \frac{b}{l} \right) \cdot \left( \frac{(EI)_L}{(EI)_T} \right)^{0.25}, 1.0 \right\}, \quad (19)$$

jossa  $l$  on lattiarakenteen jänneväli,  $b$  on lattiarakenteen leveys,  $(EI)_L$  on lattian kantavan suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden ja  $(EI)_T$  on lattian poikittaisen suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden (FprEN1995-1-1 2024, 150).

Kokonaishuippunopeusvaste  $v_{tot.peak}$  lasketaan kaavalla

$$v_{tot.peak} = k_{imp} \cdot v_{1.peak} \quad (20)$$

ja nopeuden tehollisarvo  $v_{rms}$  saadaan kaavalla

$$v_{rms} = v_{tot.peak} \cdot (0.65 - 0.01 \cdot f_1) \cdot (1.22 - 11.0 \cdot \zeta) \cdot \eta, \quad (21)$$

jossa  $f_1$  on lattiarakenteen ominaistajuus [Hz],  $\zeta$  on lattiarakenteen vaimennussuhde ja  $\eta$  on apumuuttuja, jonka arvo saadaan kaavasta

$$\eta = \begin{cases} 1.35 - 0.4 \cdot k_{imp}, & \text{kun } 1.0 \leq k_{imp} \leq 1.9, \text{ muuten } \eta = 0.59 \text{ (palkkilattioilla)} \\ 1.35 - 0.4 \cdot k_{imp}, & \text{kun } 1.0 \leq k_{imp} \leq 1.7, \text{ muuten } \eta = 0.67 \text{ (muilla lattioilla)} \end{cases} \quad (22)$$

(FprEN1995-1-1 2024, 151).

### 3.2.4 Kiihtyvyys

Kiihtyvyysskriteeri tulee tarkistaa lattioilla, joiden ominaistajuus on alle arvon  $f_{1.lim}$ . Kiihtyvyysskriteeriä tarkasteltaessa tulee laskea kiihtyvyyden tehollisarvo  $a_{rms}$ , joka lasketaan kaavalla

$$a_{rms} = \frac{k_{res} \cdot \mu_{res} \cdot F_{dyn}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot \zeta \cdot M^*}, \quad (23)$$

jossa  $k_{res}$  on värähtelyn korkeammat ominaisuudet huomioiva kerroin,  $\mu_{res}$  on resonanssivaikutuksen voimistumiskerroin, jonka arvona voidaan käyttää  $\mu_{res} = 0.4$ ,  $F_{dyn}$  on pystysuuntainen dynaaminen voima, jonka arvo on  $F_{dyn} = 50 \text{ N}$ ,  $\zeta$  on lattiarakenteen vaimennussuhde ja  $M^*$  on lattiarakenteen ominaismassa, joka lasketaan kaavoilla 17 tai 18. (FprEN1995-1-1 2024, 151–152.)

Resonanssivaikutuksen voimistumiskerroin  $\mu_{res}$  huomioi sen, että resonanssivaikutusta ei tapahdu ja kävelijä harvoin kävelee jännevälin keskellä. Resonanssivaikutuksen voimistumiskertoimen arvona on järkevää käyttää arvoa 0.8, kun kävelijä pääsee kävelemään esteettömästi yli 10 metriä. Yläraja-arvo tälle kertomelle on 1 ja se kuvaa tilannetta, kun resonanssivaikutus pääsee tapahtumaan ja kävelijä on jännevälin keskellä. (FprEN1995-1-1 2024, 152.)

Värähtelyn korkeammat ominaisuudet huomioiva kerroin  $k_{res}$  lasketaan kaavalla 24.

$$k_{res} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0.19 \cdot \left(\frac{b}{l}\right) \cdot \left(\frac{(EI)_L}{(EI)_T}\right)^{0.25} \\ 1.0 \end{array} \right. \quad (24)$$

jossa  $l$  on lattiarakenteen jänneväli,  $b$  on lattiarakenteen leveys,  $(EI)_L$  on lattian kantavan suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden ja  $(EI)_T$  on lattian poikkittaisen suunnan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden (FprEN1995-1-1 2024, 151).

### 3.2.5 Lattioiden suoritustasoluokat värähtelyn suhteen

Lattiat jaetaan värähtelyn suhteen eri luokkiin suoritustasonsa mukaan. Luokkia on kahdeksan, I-VIII, joista I-luokka on suoritustasoltaan laadukkain ja VIII-luokka on heikoin. Luokat määritellään neljän kriteerin mukaan, jotka ovat lattian ominaistajuus, taipuma 1 kN pistevoimalle, värähtelynopeus ja -kiihtyvyys. Kaikilla latioilla tulee tarkistaa ominaistajuus-, taipuma- ja nopeuskriteeri. Kiihtyvyysskriteeri tulee tarkistaa latioilla, joilla ominaistajuus  $f_1 \leq f_{1,lim}$ . Matala- ja korkeataajuuslattioiden raja-arvo  $f_{1,lim}$  tulisi olla vähintään 8 Hz monen huoneiston asuinrakennuksissa sekä suoritustasoluokan I ja II latioilla. Vaihtoehtoisesti  $f_{1,lim}$  voidaan laskea kaavasta

$$f_{1,lim} = 4 \cdot f_w, \quad (25)$$

jossa  $f_w$  on kävelyherätteestä aiheutuva taajuus. (FprEN1995-1-1 2024, 144.) Taulukossa 2 on esitetty kriteerit eri suoritustasoluokille lattian värähtelyn suhteen tulevassa Eurokoodi 5:ssä.

TAULUKKO 2. Lattian värähtelykriteerit eri suoritustasoluokilla (FprEN1995-1-1 2024, 144).

|  | I                                      | II                         | III                        | IV   | V                    | VI     | VII    | VIII   |
|--|--|----------------------------|----------------------------|--|----------------------|--------|--------|--------|
| ominaistajuuskriteeri                    | $f_1 \geq 4,5 \text{ Hz}$              |                            |                            |  | $f_1 \geq f_{1.lim}$ |        |        |        |
| taipumakriteeri                          | $W_{1.kN} \leq W_{lim} \text{ mm}$     |                            |                            |  |                      |        |        |        |
| taipuman raja-arvo $W_{lim}$             | $W_{lim} = W_{lim.max}$                |                            |                            | $W_{lim} = \max \left( w_{lim.max}^{0,5 \frac{3,6}{t}} \right) \leq W_{lim.max}$ |                      |        |        |        |
| taipuman yläraja-arvo<br>$W_{lim.max}$   | 0,25                                   | 0,5                        | 1,0                        | 1,25   | 1,5                  | 1,75   | 2,0    |        |
| nopeuskriteeri                           | $V_{rms} \leq V_{rms.lim} \text{ m/s}$ |                            |                            |  |                      |        |        |        |
| raja-arvo<br>$V_{rms.lim}$               | 0,0004                                 | 0,0008                     | 0,0012                     | 0,0016   | 0,0024               | 0,0036 | 0,0042 | 0,0048 |
| kiiktyvyyskriteeri                       | $a_{rms} \leq a_{rms.lim}$             | $a_{rms} \leq a_{rms.lim}$ | $a_{rms} \leq a_{rms.lim}$ | $a_{rms} \leq a_{rms.lim}$   | ei käyttökelpoinen   |        |        |        |
| raja-arvo<br>$a_{rms.lim} \text{ m/s}^2$ | 0,02                                   | 0,04                       | 0,06                       | 0,08   |                      |        |        |        |

Tulevassa Eurokoodi 5:ssä kansallisena valintana on suoritustasoluokkien määrittely eri laatutasoihin. Tällä hetkellä tulevassa Eurokoodi 5:ssä on esitetty suositeltu suoritustasoluokkien jako eri laatutasoihin, joka on esitetty taulukossa 3. Laatutasot ovat karkeasti suomennettu sanoista premium, standard ja base. Ensiluokkaiset lattiat ovat korkealaatuisia lattioita värähtelyn suhteen. Tavanomaisissa lattioissa värähtelyt voivat olla havaittavissa, mutta suurin osa ihmisistä koee lattian suoritustason värähtelyn suhteen olevan hyväksyttävissä. Perustason lattioissa värähtelyt ovat usein havaittavissa. (FprEN1995-1-1 2024, 145.)

TAULUKKO 3. Tulevan Eurokoodi 5:n suositellut suoritustasoluokat eri rakennuksissa (FprEN1995-1-1 2024, 145).

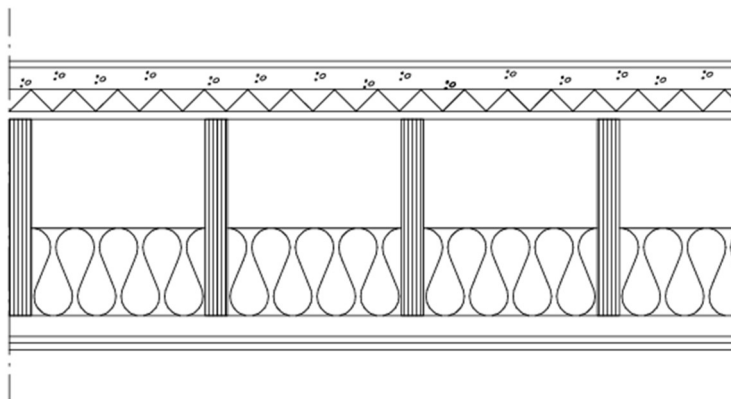
| Käyttöluokka                  | Ensiluokkainen | Tavanomainen | Perus     |
|-------------------------------|----------------|--------------|-----------|
| <b>Asuinrakennukset</b>       |                |              |           |
| -monen huoneiston rakennukset | I – III        | IV, V        | VI, VII   |
| -yhden huoneiston rakennukset | I – IV         | V            | VI – VIII |
| <b>Toimistorakennukset</b>    | I, II          | III          | IV, V     |

## 4 VERTAILULASKELMAT

### 4.1 Vertailtavat välipohjarakenteet

Tässä opinnäytetyössä tehdään värähtelymitoituksen vertailulaskelmat kolmelle erilaiselle välipohjarakenteelle A, B ja C. Vertailulaskelmissa välipohjarakenteiden jänneväli on 6 metriä ja leveys on 7 metriä.

Välipohjarakenne A:n rakennetyyppiirustus on esitetty kuvassa 5. Kyseissä välipohjassa kantavana palkkina toimii Metsä Woodin Kerto LVL S-palkki. Kerto LVL S-palkki on ominaisuuksiltaan jäykkä ja luja kokoonsa nähden ja näiden ominaisuuksien ansiosta sillä voidaan saavuttaa pitkiä jännevälejä pienellä taipumalla (Metsä Wood 2023, 4). Kerto LVL S-palkin kimmomoduuli syysuuntaan on  $13800 \text{ N/mm}^2$  ja sen keskimääräinen tiheys on  $510 \text{ kg/m}^3$  (Metsä Wood 2023, 10). Välipohjarakenne A on yhteen suuntaan kantava ja siitä tehdään vertailulaskelmat kahdessa eri tilanteessa, jossa toisessa se tukeutuu painumattomaan tukeen molemmista reunoistaan ja toisessa joustavaan tukeen eli kantavaan palkkiin molemmista reunoistaan.

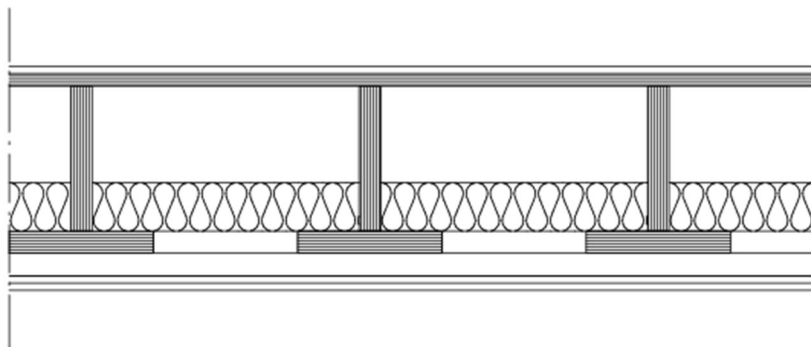


#### VP-A

- Parketti 15 mm
- Betonivalu 50 mm
- Askeläänieristys 50 mm
- Puurakennelevy 18 mm
- Kerto LVL 51x450 k450
- Mineraalivilla 200 mm
- Koolaus 48x48 k300
- Kipsilevy 2x15 mm

KUVA 5. Välipohjarakenne A.

Välipohjarakenne B:n kantavana rakenteena on Kerto-Ripa-avokotelolaatta, joka tukeutuu kahdelta reunaltaan painumattomiin tukiin. Kerto-Ripa-avokotelolaatta koostuu yhteen liimatuista Kerto-S rivoista, Kerto-S alalaipoista ja Kerto-Q ylälevystä, jotka muodostavat liittorakenteen. Kerto-Ripa-lattiaelementeillä voidaan saavuttaa 10 metrin jännevälän ja elementin pituus voi olla jopa 24 metriä. Kerto-Ripa-lattiaelementtien etuna on sen materiaalitehokkuus ja sen käyttö on taloudellisesti kannattavaa erityisesti 6–9 metrin jänneväleillä. (Metsä Group n.d.) Välipohjarakenteen B Kerto-Ripa elementit ovat leveydeltään 2,4 metriä ja rakenne toimii yhteen suuntaan kantavana. Vertailulaskelmissa välipohjarakenteen B taiputusjäykkyyden laskennassa neliömomentti on laskettu Steinerin säännön mukaan, jossa ylälevyn leveytenä on käytetty RIL 205-1-2017 kohdan 9.1.2 mukaista tehollista leveyttä. Välipohjarakenteen B:n rakennetyyppiin piirustus on esitetty kuvassa 6.



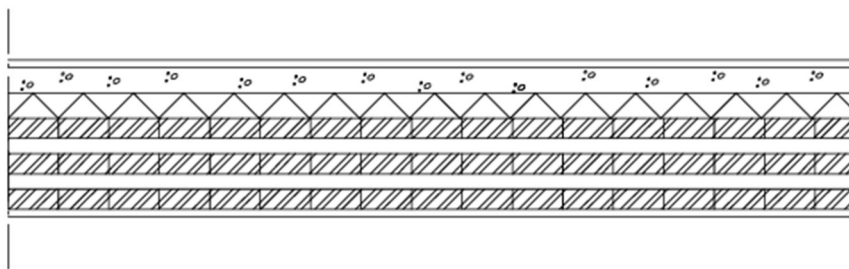
#### VP-B

- Parketti 15 mm
- Avokotelolaatan kansilevy 27 mm
- Avokotelolaatan uumapalkki LVL 45x300
- Avokotelolaatan alalaippa LVL 45x300
- Mineraalivilla 100 mm
- Koolaus 48x48 k300
- Kipsilevy 2x15 mm

KUVA 6. Välipohjarakenne B.

Välipohjarakenteena C on 180 mm paksu CLT-laatta ja kelluva betonilaatta. Tämän opinnäytetyön vertailulaskelmissa käytetään Oy Crosslam Kuhmo Ltd:n valmistaa Crosslam CLT-levyä välipohjarakenne C:ssä. Crosslam CLT-levyjen vähimmäismitat ovat 2,5 m x 4 m ja enimmäismitat ovat 3,2 m x 12 m sekä sen

levyjen kerrosmäärä on 3, 5 tai 7 (Oy Crosslam Kuhmo Ltd. n.d.). Välipohjarakenteen C 2,5 metriä leveä CLT-laatta koostuu viidestä kerroksesta ja se toimii välipohjarakenteen kantavana osana. Vertailulaskelmissa CLT-laatan tehollinen taivutusjäykkyys on laskettu RIL 205-1-2017 lisäohjeen: CrossLam Kuhmo CLT mukaisesti, jonka mukaan voidaan soveltaa RIL 205-1-2017 kohdan 9.1.3.2S ohjeita enintään viisikerroksisten laattojen mitoituksessa. CLT-laatan keskimääräinen kimmomoduuli on  $11500 \text{ N/mm}^2$ . (Kevarinmäki 2017, 1–2.) Vertailulaskelmissa välipohjarakenne C katsotaan tukeutuvan neljältä reunaltaan painumattomiin tukiin. Välipohjarakenne C:n rakennetyyppiirustus on esitetty kuvassa 7.



#### VP-C

- Parketti 15 mm
- Betonivalu 50 mm
- Askeläänieristys 50 mm
- CLT 180 mm
- Kipsilevy 15 mm

KUVA 7. Välipohjarakenne C.

## 4.2 Tulokset

Välipohjarakenteille A-C tehtiin värähtelymitoituksen vertailulaskelmat SFS-EN 1995-1-1(2014) mukaan ja FprEN 1995-1-1(2024) mukaan 6 metrin jännevälillä. Vertailulaskelmien tuloksia varten tehtiin laskentapohja Mathcad-laskentaohjelmaa käyttäen. Vertailulaskelmat on esitetty liitteessä 1. Välipohjarakenteet tulee mitoittaa murtoraja- ja käyttörajatilan rasituksille, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain värähtelymitoitukseen.

Välipohjarakenne A tapauksessa, jossa se tukeutuu painumattomaan tukeen molemmista reunoistaan, täytti SFS-EN 1995-1-1(2014):n mitoitusehdot värähtelyn

suhteen taipuman ollessa alle 0,5 mm ja alimman ominaistaajuuden ollessa yli 9 Hz. FprEN 1995-1-1(2024):n mitoitusohjeiden kaavojen mukaan tuloksena välipohjarakenteen ominaistaajuudeksi saatiin sama arvo kuin nykyisten suunniteluohjeiden mukaan. FprEN 1995-1-1(2024) mukaisilla kaavoilla laskettu 1 kN pistevaiman aiheuttaman taipuman arvo erittäin vähän verrattuna SFS-EN 1995-1-1(2014):n mukaisilla kaavoilla laskettuun arvoon. Kiihtyvyytarkastelua ei tarvinnut tarkistaa, sillä rakenteen ominaistaajuus oli yli 8 Hz eli rakenteen suoritustasoluokan määritteli taipuma- ja nopeuskriteeri. Välipohjarakenteen A vertailulaskelmien tulokset, kun se tukeutuu painumattomaan tukeen molemmilta reunoiltaan, ovat esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4.

| <b>Välipohjarakenne A, painumaton tuki molemmilla reunoilla</b> |                              |                             |
|---|------------------------------|-----------------------------|
| <u>Kriteerit</u>  | <u>SFS-EN 1995-1-1(2014)</u> | <u>FprEN 1995-1-1(2024)</u> |
| Ominaistaajuus (Hz)   | 9.836                        | 9.836                       |
| Taipuma (mm)  | 0.176                        | 0.162                       |
| Nopeus (m/s)  | -                            | 0.0002858068                |
| Kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )                                  | -                            | -                           |

Välipohjarakenne A:n vertailulaskelmien tulokset tapauksessa, jossa se tukeutuu kantavaan palkkiin molemmista reunoistaan, ovat esitetty taulukossa 5. Tässä tapauksessa oli huomattava ero ominaistaajuuden laskenta-arvossa. Ominaistaajuus SFS-EN 1995-1-1(2014) mukaisessa laskennassa laskettiin VTT tiedotteen 2124 esittämällä systeemin ominaistaajuuden kaavalla (3), josta FprEN 1995-1-1(2024):n esittämä systeemin ominaistaajuuden laskentakaava (10) eroaa. Vertailulaskelmien tuloksena SFS-EN 1995-1-1(2014):n kaavoilla välipohjarakenteen ominaistaajuuden tulokseksi tuli 7,692 Hz, eli alle 9 Hz, mikä viittaa, että se luokiteltaisiin matalataajuuslattiaksi. FprEN 1995-1-1(2024):n mukaisilla mitoitusohjeilla rakenteen ominaistaajuus oli 8,245 Hz, joten sille ei tarvitse suorittaa kiihtyvyytarkastelua.

TAULUKKO 5

| <b>Välipohjarakenne A, joustava tuki molemmilla reunoilla</b> |                              |                             |
|---|------------------------------|-----------------------------|
| <u>Kriteerit</u>  | <u>SFS-EN 1995-1-1(2014)</u> | <u>FprEN 1995-1-1(2024)</u> |
| Ominaistaajuus (Hz)   | 7.692                        | 8.245                       |
| Taipuma (mm)  | 0.226                        | 0.212                       |
| Nopeus (m/s)  | -                            | 0.0003699102                |
| Kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )                                | -                            | -                           |

Välipohjarakenteen B värähtelymitoituksessa SFS-EN 1995-1-1(2014):n suunnitteluohjeita noudattaen mitoitusehdot täyttyivät. FprEN 1995-1-1(2024):n mukaisessa värähtelymitoituksessa saatiin tulokseksi suoritustasoluokka II, jossa määrääväksi tekijäksi tuli värähtelynopeus. Välipohjarakenne B oli kaikista kevyin rakenne tarkasteltavista välipohjarakenteista, joka on huomattavissa myös rakenteen alimman ominaistaajuuden korkeasta arvosta, mikä on ominaista kevyille rakenteille. Välipohjarakenteen B vertailulaskelmien tulokset ovat esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6.

| <b>Välipohjarakenne B, painumaton tuki molemmilla reunoilla</b> |                              |                             |
|---|------------------------------|-----------------------------|
| <u>Kriteerit</u>  | <u>SFS-EN 1995-1-1(2014)</u> | <u>FprEN 1995-1-1(2024)</u> |
| Ominaistaajuus (Hz)   | 18.231                       | 18.231                      |
| Taipuma (mm)  | 0.258                        | 0.238                       |
| Nopeus (m/s)  | -                            | 0.0004858927                |
| Kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )                                  | -                            | -                           |

Välipohjarakenteella C vertailulaskelmien mukaan SFS-EN 1995-1-1(2014) suunnitteluohjeiden ehdot värähtelymitoituksessa eivät täytyneet, sillä alin ominaistaajuus oli alle 9 Hz, joten täytyisi tehdä erityistarkastelu. Vertailulaskelmien tuloksena FprEN 1995-1-1(2024):n mukaan suoritustasoluokka oli IV, jonka määräävä kriteeri oli kiihtyvyysskriteeri. Välipohjarakenne C on massaltaan raskain tässä opinnäytetyössä tarkasteltavista välipohjarakenteista. Välipohjarakenteen vertailulaskelmien tulokset ovat esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7.

| <b>Välipohjarakenne C, painumaton tuki neljällä reunalla</b> |                              |                             |
|--|------------------------------|-----------------------------|
| <u>Kriteerit</u>   | <u>SFS-EN 1995-1-1(2014)</u> | <u>FprEN 1995-1-1(2024)</u> |
| Ominaistaajuus (Hz)  | 6.992                        | 6.119                       |
| Taipuma (mm)   | 0.432                        | 0.239                       |
| Nopeus (m/s)   | -                            | 0.0007417397                |
| Kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )                               | -                            | 0.062                       |

Vertailulaskelmissa oli osittain eroavaisuuksia suunnitteluohjeiden välillä, sillä osa välipohjarakenteista eivät täyttäneet SFS-EN 1995-1-1(2014):n mukaisia mitoitusohjeita, mutta FprEN 1995-1-1(2024):n mitoitusohjeiden mukaisessa laskennassa päästiin arvioimaan rakenteen toimivuutta värähtelyn suhteen, koska FprEN 1995-1-1(2024) antaa mitoitusohjeet matalataajuuslattiolle toisin kuin SFS-EN 1995-1-1(2014). Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto tarkasteltavien välipohjarakenteiden vaatimusten vertailusta suunnitteluohjeiden välillä, jossa VP on lyhenne sanasta välipohjarakenne ja VP-A:n numero 1 on tapaus, jossa rakenne tukeutuu painumattomaan tukeen molemmilta reunoiltaan ja numero 2 on tapaus, jossa rakenne tukeutuu kantavaan palkkiin molemmilta reunoiltaan. Lyhenteellä tuleva EC5 viitataan tulevaan eurokoodi 5:een eli FprEN 1995-1-1(2024) ja lyhenteellä nykyinen EC5 viitataan standardiin SFS-EN 1995-1-1(2014)

TAULUKKO 8.

| <b><u>Kriteerit</u></b>                           | <b><u>VP-A, 1</u></b>              | <b><u>VP-A, 2</u></b>              | <b><u>VP-B</u></b>                  | <b><u>VP-C</u></b>                              |
|---|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|
| ominaistaajuus<br>nykyinen EC5                    | ≥ 9 Hz, OK                         | ≥ 9 Hz, EI OK                      | ≥ 9 Hz, OK                          | ≥ 9 Hz, EI OK                                   |
| ominaistaajuus<br>tuleva EC5                      | ≥ 8 Hz                             | ≥ 8 Hz                             | ≥ 8 Hz                              | ≥ 4,5 Hz  |
| taipuma<br>nykyinen EC5                           | ≤ 0,5 mm, OK                       | ≤ 0,5 mm, OK                       | ≤ 0,5 mm, OK                        | ≤ 0,5 mm, OK                                    |
| taipuma<br>tuleva EC5                             | ≤ 0,25 mm,<br>suoritustasolk. I    | ≤ 0,25 mm,<br>suoritustasolk. I    | ≤ 0,25 mm,<br>suoritustasolk. I     | ≤ 0,25 mm,<br>suoritustasolk. I                 |
| nopeus<br>tuleva EC5                              | ≤ 0,0004 m/s,<br>suoritustasolk. I | ≤ 0,0004 m/s,<br>suoritustasolk. I | ≤ 0,0008 m/s,<br>suoritustasolk. II | ≤ 0,0008 m/s,<br>suoritustasolk. II             |
| kiihtyvyys<br>tuleva EC5                          | -                                  | -                                  | -                                   | ≤ 0,08 m/s <sup>2</sup> ,<br>suoritustasolk. IV |
| <b><u>Mitoitusehdot ja suoritustasoluokka</u></b> |                                    |                                    |                                     |   |
| mitoitusehdot<br>nykyinen EC5                     | täyttyy                            | ei täyty                           | täyttyy                             | ei täyty  |
| suoritustasolk.<br>tuleva EC5                     | I                                  | I                                  | II                                  | IV  |

## 5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda esille teorian ja vertailulaskelmien avulla miten tulevan Eurokoodi 5:n (FprEN 1995-1-1(2024)) mukainen värähtelymitoitus eroaa nykyisen Eurokoodi 5:n (SFS-EN 1995-1-1(2014)) mukaisesta värähtelymitoituksesta. Vertailulaskelmista yksi huomattava ero suunnitteluohjeiden välillä on, että FprEN 1995-1-1(2024) tarjoaa mitoitusohjeet myös puisille matalataajuuslattioille, mitä standardissa SFS-EN 1995-1-1(2014) ei ole. Edellä mainittu ero oli huomattava etenkin välipohjarakenne C:n vertailulaskelmissa, sillä sen suoritustasoluokitus oli IV FprEN 1995-1-1(2024) mitoitusohjeiden mukaan ja standardin SFS-EN 1995-1-1(2014) mukaan täytyisi suorittaa erityistarkastelu.

FprEN 1995-1-1(2024):ssa korkeataajuuslattian ominaistaajuuden raja-arvo tip-puisi nykyisin Suomessa käytettävästä 9 Hz raja-arvosta 8 Hz:iin. Välipohjarakenne A:n tapauksessa, jossa se tukeutuu kantavaan palkkiin molemmilta reunoiltaan, korkeataajuuslattian ominaistaajuuden raja-arvon muutos oli huomattava, sillä FprEN 1995-1-1(2024) mitoitusohjeiden mukaan se luokiteltaisiin korkeataajuuslattiaksi ja standardin SFS-EN 1995-1-1(2014) mitoitusohjeen mukaan matalataajuuslattiaksi.

Myös FprEN 1995-1-1(2024):ssä esitetyt laskentakaavat eroavat hieman SFS-EN 1995-1-1(2014):n laskentakaavoista ja ne antavat mahdollisuuden tarkempaan tarkasteluun värähtelymitoituksessa. FprEN 1995-1-1(2024):n mitoitusohjeissa lattian suoritustaso värähtelyn suhteen määritellään ominaistaajuuden, taipuman, nopeuden ja kiihtyvyyden tarkastelulla toisin kuin SFS-EN 1995-1-1(2014):n mukaisessa mitoituksessa, jossa tarkastellaan vain ominaistaajuus ja taipuma. Ominaistaajuuden määrittäminen lattioille, jotka tukeutuvat painumattomaan tukeen, on samankaltainen kummankin suunnitteluohjeen välillä. Joustavaan tukeen tukeutuvien lattiarakenteiden ominaistaajuuden laskentakaavat eroavat huomattavasti, sillä SFS-EN 1995-1-1(2014) ei tarjoa suoraan kaavaa joustavan tuen huomioimiseen, mutta tämän opinnäytetyön vertailulaskelmissa on käytetty VTT tiedotteen 2124 tarjoamaa kaavaa yhdistetyn ominaistaajuuden laskemiseen. 1 kN pistevoiman aiheuttaman taipuman laskentakaavat eroavat myös

SFS-EN 1995-1-1(2014):n ja FprEN 1995-1-1(2024):n välillä. FprEN 1995-1-1(2024):n 1 kN pistevoiman aiheuttama taipuma lasketaan käyttäen tehollista leveyttä, jonka määrittelyyn on kaksi eri kaavaa; lattioille, joilla on tasainen taivutusjäykkyys poikittaissuunnassa koko leveydeltään ja lattioille, joilla on poikittaisjäykiste jännevälillä keskellä. SFS-EN 1995-1-1(2014):n tarjoamissa laskentakaa-voissa 1 kN pistevoiman taipuma lasketaan käyttäen palkkijakoa verrattuna FprEN 1995-1-1(2024):ssä käytettyyn teholliseen leveyteen tai kaavalla, joka huomioi poikittaisen jäykkyyden. Tämän opinnäytetyön vertailulaskelmien tulok-ista 1 kN pistevoiman aiheuttama taipuma oli samansuuruinen välipohjaraken-teissa A ja B suunnitteluohjeiden välillä, mutta välipohjarakenteessa C ero oli suurempi, jonka syynä on laskennassa käytetty tarkasteltava leveys.

Tulevan ja nykyisen eurokoodi 5:n välinen vertailu on haastavaa, koska ne eroa-vat toisistaan paljon. Lisäksi tulevaan eurokoodi 5:een voi tulla muutoksia ja sen kansallisia liitteitä ei ole vielä saatavilla, joten tämän opinnäytetyön vertailulaskel-mien tulokset eivät mahdollisesti ole tulevaisuudessa enää luotettavia. On myös mahdollista, kun lopullinen versio tulevasta Eurokoodi 5:stä ja sen kansalliset liit-teet julkaistaan, että värähtelymitoituksen tulokset ehtojen täyttymisen suhteen ovat samankaltaiset sen ja nykyisen Eurokoodi 5:n välillä, riippuen kansallisesta valinnasta, mitkä tulevat olemaan suoritustasoluokkavaatimukset eri rakennuk-sille tulevassa eurokoodi 5:ssä. Tulevan eurokoodi 5:n kansallinen liite voisi olla hyvä jatkotutkimuksen aihe, kun se julkaistaan tai värähtelyn kokeelliset mittauk-set toteutuneista välipohjarakenteista ja kuinka yhdenmukaisia ne ovat laskel-mien kanssa.

## LÄHTEET

Eurokoodi Help Desk. 2021. Toinen sukupolvi. Tilanne. Verkkosivu. Viitattu 10.3.2025. <https://www.eurocodes.fi/eurokoodien-tilanne-nyt/>

FprEN1995-1-1:2024. 2024. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Technical Committee CEN/TC 250. Viitattu 1.3.2025. Vaatii käyttöoikeuden.

Jarnerö, K. 2014. Vibrations in timber floors – Dynamic properties and human perception. Linnaeus University. Faculty of Technology. Department of Building and Energy Technology. Linnaeus University Dissertations No 195/2014. Doctoral thesis. Viitattu 20.2.2025. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:782513/FULLTEXT01.pdf>

Kevarinmäki, A. 2017. RIL 205-1-2017 lisäohjeet: CrossLam Kuhmo CLT. Viitattu 3.4.2025. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/RIL-205-1-2017-CrossLam-Kuhmo-CLT-lis%C3%A4ohjeet-5-12-2017.pdf>

Metsä Group. n.d. Kerto-Ripa floor elements. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2025. <https://www.metsagroup.com/metsawood/explore-wood/kerto-lvl-applications/floor-elements/kerto-ripa-floor-elements/>

Metsä Wood. 2023. Kerto LVL for load-bearing applications. Pdf-tiedosto. Viitattu 2.4.2025. [https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto\\_lvl\\_for\\_load-bearing\\_applications.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto_lvl_for_load-bearing_applications.pdf)

Oy Crosslam Kuhmo Ltd. n.d. Crosslam CLT. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2025. <https://www.metsagroup.com/metsawood/explore-wood/kerto-lvl-applications/floor-elements/kerto-ripa-floor-elements/>

Pennala, E. 1999. Koneiden ja rakenteiden värähtelyt. Helsinki: Otatieto.

RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC. 2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 1.3.2025. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/380211.html.stx>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Puurakenteet. 2016. Viitattu 1.3.2025. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA\\_D384\\_481B\\_BC09\\_FE51691B8BE8-123939.pdf/7b5d70f7-f18f-66fe-8da1-d467e39c5ffe/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA\\_D384\\_481B\\_BC09\\_FE51691B8BE8-123939.pdf?t=1603260650690](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA_D384_481B_BC09_FE51691B8BE8-123939.pdf/7b5d70f7-f18f-66fe-8da1-d467e39c5ffe/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA_D384_481B_BC09_FE51691B8BE8-123939.pdf?t=1603260650690)

Talja, A. 1996. Teräsrunkoisten välipohjien värähtelyjen hallinta. VTT tiedote 1790. Viitattu 15.2.2025. <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/1996/T1790.pdf>.

Talja, A., Toratti, T. & Järvinen, E. 2002. Lattioiden värähtelyt. Suunnittelu ja ko-  
keellinen arviointi. VTT tiedote 2124. Viitattu 20.2.2025. [https://publicati-  
ons.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2124.pdf](https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2124.pdf).

## LIITTEET

## Liite 1. Vertailulaskelmat

1(20)

## Lattian värähtelymitoitus (standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan)

Väliohjarakenne A, palkkiväliohja + kantava palkki

Mitat

$L := 6 \text{ m}$

väliohjarakenteen pituus

$B := 7 \text{ m}$

väliohjarakenteen leveys

Materiaalitiedot:

Tilavuuspaino:

Korkeus:

Leveys / jakoväli (1 m:n kaistalla):

$\rho_{\text{parketti}} := 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{parketti}} := 15 \text{ mm}$

$b_{\text{parketti}} := 1000 \text{ mm}$

$\rho_{\text{betoni}} := 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{betoni}} := 50 \text{ mm}$

$b_{\text{betoni}} := 1000 \text{ mm}$

$\rho_{\text{eriste}} := 85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{eriste}} := 50 \text{ mm}$

$b_{\text{eriste}} := 1000 \text{ mm}$

$\rho_{\text{rak.levy}} := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{rak.levy}} := 18 \text{ mm}$

$b_{\text{rak.levy}} := 1000 \text{ mm}$

$\rho_{\text{palkki}} := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{palkki}} := 450 \text{ mm}$

$b_{\text{palkki}} := 51 \text{ mm} \quad k_{\text{palkki}} := 450 \text{ mm}$

$\rho_{\text{eriste.2}} := 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{eriste.2}} := 200 \text{ mm}$

$b_{\text{eriste.2}} := 1000 \text{ mm}$

$\rho_{\text{koolaus}} := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{koolaus}} := 48 \text{ mm}$

$b_{\text{koolaus}} := 48 \text{ mm} \quad k_{\text{koolaus}} := 300 \text{ mm}$

$\rho_{\text{kipsilevy}} := 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_{\text{kipsilevy}} := 15 \text{ mm}$

$b_{\text{kipsilevy}} := 1000 \text{ mm}$

$m_{\text{parketti}} := \rho_{\text{parketti}} \cdot h_{\text{parketti}} = 9.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

parketin paino

$m_{\text{betoni}} := \rho_{\text{betoni}} \cdot h_{\text{betoni}} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

betonin paino

$m_{\text{eriste}} := \rho_{\text{eriste}} \cdot h_{\text{eriste}} = 4.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

askeläänieristeen paino

$$m_{\text{rak.levy}} := \rho_{\text{rak.levy}} \cdot h_{\text{rak.levy}} = 9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{rakennuslevyn paino}$$

$$m_{\text{palkki}} := \rho_{\text{palkki}} \cdot h_{\text{palkki}} \cdot b_{\text{palkki}} \cdot \frac{1}{k_{\text{palkki}}} = 26.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{palkin paino}$$

$$m_{\text{eriste.2}} := \rho_{\text{eriste.2}} \cdot h_{\text{eriste.2}} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{eristeen paino}$$

$$m_{\text{koolaus}} := \rho_{\text{koolaus}} \cdot h_{\text{koolaus}} \cdot b_{\text{koolaus}} \cdot \frac{1}{k_{\text{koolaus}}} = 3.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{koolauksen paino}$$

$$m_{\text{kipsilevy}} := 2 \cdot \rho_{\text{kipsilevy}} \cdot h_{\text{kipsilevy}} = 27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{kipsilevyn paino}$$

$$m_{\text{kok.}} := m_{\text{parketti}} + m_{\text{betoni}} + m_{\text{eriste}} + m_{\text{rak.levy}} + m_{\text{palkki}} + m_{\text{eriste.2}} + m_{\text{koolaus}} + m_{\text{kipsilevy}} = 209.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_k := 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + m_{\text{kok.}} = 239.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{Lattiarakenteen oman painon ja hyötykuormasta osuuden } 30 \text{ kg/m}^2 \text{ yhteenlaskettu massa}$$

#### Taivutusjäykkyys

$$E_{\text{palkki}} := 13800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{LVL palkin kimmokerroin}$$

$$I_{\text{palkki}} := \frac{b_{\text{palkki}} \cdot h_{\text{palkki}}^3}{12} = (3.873 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad \text{LVL palkin neliomomentti}$$

$$E_{\text{betoni}} := 30000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Betonivalun kimmokerroin}$$

$$I_{\text{betoni}} := \frac{b_{\text{betoni}} \cdot h_{\text{betoni}}^3}{12} = (1.042 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad \text{Betonivalun neliomomentti}$$

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys kantavaan suuntaan:

$$EI_l := E_{\text{palkki}} \cdot I_{\text{palkki}} \cdot \frac{1}{k_{\text{palkki}}} + E_{\text{betoni}} \cdot I_{\text{betoni}} \cdot \frac{1}{b_{\text{betoni}}} = (1.219 \cdot 10^7) \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys poikittaiseen suuntaan:

$$EI_b := E_{\text{betoni}} \cdot I_{\text{betoni}} \cdot \frac{1}{b_{\text{betoni}}} = 312500 \frac{N \cdot m^2}{m}$$

Alin ominaistaajuus

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_1}{m_k}} = 9.836 \text{ Hz}$$

Lattiarakenteen alin ominaistaajuus

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} = 1$$

Lattiarakenteen alimman ominaistaajuuden tarkasteluraja

1 kN staattisen pistevoiman painuma

$$F := 1 \text{ kN}$$

1 kN pistevoima

$$k_\delta := \min \left( \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_1}}, \frac{B}{L} \right) = 0.4$$

Apumuuttuja

$$\delta := \min \left( \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_\delta \cdot EI_1}, \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot k_{\text{palkki}} \cdot EI_1} \right) = 0.176 \text{ mm}$$

1 kN pistekuorman aiheuttama painuma lattiarakenteessa

$$\delta \leq 0.5 \text{ mm} = 1$$

Mititusehto

Kantava palkki

$$b_2 := 240 \text{ mm}$$

palkin paksuus

$$h_2 := 820 \text{ mm}$$

palkin korkeus

$$k_{\text{jako.2}} := L = 6 \text{ m}$$

palkkien jakoväli, molemmilla reunoilla

$$L_{\text{liimapuu}} := B = 7 \text{ m}$$

palkin jänneväli

$$\rho_{\text{liimapuu}} := 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

liimapuun ominaispaino

$$E_{\text{liimapuu}} := 13000 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

liimapuun kimmokerroin

$$m_{k,2} := m_k + \rho_{liimapuu} \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot \frac{1}{1 \text{ m}} = 324.474 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Lattiarakenteen oman painon ja hyötykuormasta osuuden  $30 \text{ kg/m}^2$  yhteenlaskettu massa palkille

$$I_{liimapuu} := \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = (1.103 \cdot 10^{10}) \text{ mm}^4$$

palkin neliömomentti

palkin taivutusjäykkyys:

$$EI_L := E_{liimapuu} \cdot I_{liimapuu} \cdot \frac{1}{k_{jako,2} \cdot 2} + E_{betoni} \cdot I_{betoni} \cdot \frac{1}{b_{betoni}} = (4.81 \cdot 10^{13}) \frac{\text{N} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Alin ominaistajuus

$$f_{1,L} := \frac{\pi}{2 \cdot L_{liimapuu}} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_{k,2}}} = 12.342 \text{ Hz}$$

Kantavan palkin alin ominaistajuus

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} = 1$$

Lattiarakenteen alimman ominaistajuuden tarkasteluraja

Välipohjan ja kantavan palkin yhdistetty alin ominaistajuus

$$f_0 := \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_{1,L}^2}}} = 7.692 \text{ Hz}$$

$$f_0 \geq 9 \text{ Hz} = 0$$

Lattiarakenteen alimman ominaistajuuden tarkasteluraja

Yhdistetty painuma 1 kN pistevoimalle

$$\delta_1 := \delta = 0.176 \text{ mm}$$

välipohjan painuma

$$\delta_2 := \frac{F \cdot L_{liimapuu}^3}{48 \cdot E_{liimapuu} \cdot I_{liimapuu}} = 0.05 \text{ mm}$$

kantavan palkin painuma

$$\delta_{kok} := \delta_1 + \delta_2 = 0.226 \text{ mm}$$

kokonaispainuma

$$\delta_{kok} \leq 0.5 \text{ mm} = 1$$

Mitoitusehto

### Lattian värähtelymitoitus (FprEN 1995-1-1(2024))

#### Alin ominaistaajuus

$$k_{e,1} := 1 \quad \text{kerroin 1-aukkoiselle lattiarakenteelle}$$

$$k_{e,2} := 1 \quad \text{kerroin, joka huomioi lattiarakenteen poikittaisen jäykkyyden}$$

$$f_{1,rigid} := k_{e,1} \cdot k_{e,2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_k}} = 9.836 \text{ Hz} \quad \text{lattiarakenteen alin ominaistaajuus}$$

$$f_{1,beam} := k_{e,1} \cdot k_{e,2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot L_{liimapuu}^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_{k,2}}} = 12.342 \text{ Hz} \quad \text{kantavan palkin alin ominaistaajuus}$$

$$f_1 := \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{1,L}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{1,L}^2}}} = 8.245 \text{ Hz} \quad \text{yhdistetty ominaistaajuus}$$

$$f_w := 1.5 \text{ Hz} \quad \text{kävelystä aiheutuva värähtelytaajuus asuinhuoneistossa}$$

$$f_{1,lim} := \max(8 \text{ Hz}, 4 \cdot f_w) = 8 \text{ Hz} \quad \text{ominaistaajuuden alaraja korkeataajuuslattiaolle}$$

#### Taipuma

$$F := 1 \text{ kN} \quad \text{pistevoima}$$

$$b_{ef} := \min\left(0.95 \cdot L \cdot \left(\frac{EI_b}{EI_1}\right)^{0.25}, B\right) = (2.281 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad \text{tehollinen leveys}$$

$$w_{1kN,2} := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_1 \cdot b_{ef}} = 0.162 \text{ mm} \quad \text{1 kN:n pistevoiman aiheuttama taipuma lattiarakenteessa}$$

$$w_{1kN,1} := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_1 \cdot b_{ef}} + \frac{F \cdot B^3}{48 \cdot E_{liimapuu} \cdot I_{liimapuu}} = 0.212 \text{ mm} \quad \text{1 kN:n pistevoiman aiheuttama taipuma lattiarakenteessa ja kantavassa palkissa}$$

Värähtelynopeus, kun lattiarakenne tukeutuu kantavaan palkkiin

$$I_{mod.mean} := \left( \frac{42 \cdot \left( \frac{f_w}{Hz} \right)^{1.43}}{\left( \frac{f_1}{Hz} \right)^{1.3}} \right) \cdot N \cdot s = 4.831 \text{ N} \cdot s$$

impulssimoduuli  
lattiarakenne+kantava palkki

$$k_{red} := 0.7$$

piennyskerroin

$$M_k := \frac{m_k \cdot B \cdot L}{2} = 5036.85 \text{ kg}$$

lattiarakenteen ominaismassa

$$v_{1,peak} := k_{red} \cdot \frac{I_{mod.mean}}{M_k + 70 \text{ kg}} = 0.0006622 \frac{m}{s}$$

huippunopeusvaste

$$k_{imp} := \max \left( 1, 0.48 \cdot \left( \frac{B}{L} \right) \cdot \left( \frac{EI_l}{EI_b} \right)^{0.25} \right) = 1.399$$

korkeammat värähtelymuodot  
huomioiva kerroin

$$v_{tot,peak} := k_{imp} \cdot v_{1,peak} = 0.00092674 \frac{m}{s}$$

kokonaishuippunopeusvaste

$$\zeta := 0.03$$

vaimennussuhde

$$\eta := 1.35 - 0.4 \cdot k_{imp} = 0.79$$

apumuuttuja, kun  $1 \leq k_{imp} \leq 1.9$

nopeuden tehollisarvo:

$$v_{rms} := v_{tot,peak} \cdot \left( 0.65 - 0.01 \cdot \frac{f_1}{Hz} \right) \cdot (1.22 - 11 \cdot \zeta) \cdot \eta = 0.0003699102 \frac{m}{s}$$

Värähtelynopeus, kun lattiarakenne tukeutuu painumattomaan tukeen

$$I_{mod.mean} := \left( \frac{42 \cdot \left( \frac{f_w}{Hz} \right)^{1.43}}{\left( \frac{f_{1.rigid}}{Hz} \right)^{1.3}} \right) \cdot N \cdot s = 3.84 \text{ N} \cdot s \quad \text{impulssimoduuli lattiarakenne}$$

$$v_{1.peak} := k_{red} \cdot \frac{I_{mod.mean}}{M_k + 70 \text{ kg}} = 0.00052641 \frac{m}{s} \quad \text{huippunopeusvaste}$$

$$v_{tot.peak} := k_{imp} \cdot v_{1.peak} = 0.0007367 \frac{m}{s} \quad \text{kokonaishuippunopeusvaste}$$

nopeuden tehollisarvo:

$$v_{rms} := v_{tot.peak} \cdot \left( 0.65 - 0.01 \cdot \frac{f_{1.rigid}}{Hz} \right) \cdot (1.22 - 11 \cdot \zeta) \cdot \eta = 0.0002858068 \frac{m}{s}$$

Created with PT-[www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) Express. See [www.mathcad.com](http://www.mathcad.com) for more information.

**Vertailu, kun lattiarakenne tukeutuu kantavaan palkkiin molemmilta reunoiltaan**

standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan:

7.692 Hz  $\geq$  9 Hz EI OK ominaistaajuus0.226 mm  $\leq$  0.5 mm OK taipuma

--&gt; ei täytä ehtoja

FprEN 1995-1-1(2024) mukaan:

8.245 Hz  $\geq$  8 Hz ei tarvitse tarkastaa kiihtyvyysskriteeriä ominaistaajuus0.212 mm  $\leq$  0.25 mm suoritustasoluokka I taipuma0.0003699102  $\frac{m}{s} \leq$  0.0004  $\frac{m}{s}$  suoritustasoluokka I nopeus

--&gt; rakenne kuuluu suoritustasoluokkaan I

**Vertailu, kun lattiarakenne tukeutuu painumattomaan tukeen molemmilta reunoiltaan**

standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan:

9.836 Hz  $\geq$  9 Hz OK ominaistaajuus0.176 mm  $\leq$  0.5 mm OK taipuma

--&gt; täyttää ehdot

FprEN 1995-1-1(2024) mukaan:

9.836 Hz  $\geq$  8 Hz ei tarvitse tarkastaa kiihtyvyysskriteeriä ominaistaajuus0.162 mm  $\leq$  0.25 mm suoritustasoluokka I taipuma0.0002858068  $\frac{m}{s} \leq$  0.0004  $\frac{m}{s}$  suoritustasoluokka I nopeus

--&gt; rakenne kuuluu suoritustasoluokkaan I

### Lattian värähtelymitoitus (standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan)

Väliopohjarakenne B, avokotelolaattaväliopohja

Mitat

$$L := 6 \text{ m}$$

väliopohjarakenteen pituus

$$B := 7 \text{ m}$$

väliopohjarakenteen leveys

Materiaalitiedot:

Tilavuuspaino:

Korkeus:

Leveys / jakoväli (1 m:n kaistalla):

$$\rho_{\text{parketti}} := 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{parketti}} := 15 \text{ mm}$$

$$b_{\text{parketti}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{ylälevy}} := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{ylälevy}} := 27 \text{ mm}$$

$$b_{\text{ylälevy}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{riipa}} := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{riipa}} := 300 \text{ mm}$$

$$b_{\text{riipa}} := 45 \text{ mm} \quad k_{\text{riipa}} := 600 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{alalaippa}} := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{alalaippa}} := 45 \text{ mm}$$

$$b_{\text{alalaippa}} := 300 \text{ mm} \quad k_{\text{alalaippa}} := 600 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{eriste}} := 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{eriste}} := 100 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eriste}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{koolaus}} := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{koolaus}} := 48 \text{ mm}$$

$$b_{\text{koolaus}} := 48 \text{ mm} \quad k_{\text{koolaus}} := 300 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{kipsilevy}} := 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{kipsilevy}} := 15 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kipsilevy}} := 1000 \text{ mm}$$

$$m_{\text{parketti}} := \rho_{\text{parketti}} \cdot h_{\text{parketti}} = 9.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

parketin paino

$$m_{\text{ylälevy}} := \rho_{\text{ylälevy}} \cdot h_{\text{ylälevy}} = 13.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

ylälevyyn paino

$$m_{\text{riipa}} := \rho_{\text{riipa}} \cdot h_{\text{riipa}} \cdot b_{\text{riipa}} \cdot \frac{1}{k_{\text{riipa}}} = 11.475 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

riivan paino

$$m_{\text{alalaippa}} := \rho_{\text{alalaippa}} \cdot h_{\text{alalaippa}} \cdot b_{\text{alalaippa}} \cdot \frac{1}{k_{\text{alalaippa}}} = 11.475 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

alalaipan paino

$$m_{eriste} := \rho_{eriste} \cdot h_{eriste} = 2.5 \frac{kg}{m^2}$$

eristeen paino

$$m_{koolaus} := \rho_{koolaus} \cdot h_{koolaus} \cdot b_{koolaus} \cdot \frac{1}{k_{koolaus}} = 3.84 \frac{kg}{m^2}$$

koolauksen paino

$$m_{kipsilevy} := 2 \cdot \rho_{kipsilevy} \cdot h_{kipsilevy} = 27 \frac{kg}{m^2}$$

kipsilevyn paino

$$m_{kok.} := m_{parketti} + m_{ylälevy} + m_{riipa} + m_{alalaiippa} + m_{eriste} + m_{koolaus} + m_{kipsilevy} = 79.81 \frac{kg}{m^2}$$

$$m_k := 30 \frac{kg}{m^2} + m_{kok.} = 109.81 \frac{kg}{m^2}$$

Lattiarakenteen oman painon ja hyötykuormasta osuuden  $30 \text{ kg}/m^2$  yhteenlaskettu massaTaivutusjäykkyys

$$E_{kerto,S} := 13800 \frac{N}{mm^2}$$

Kerto S:n kimmokerroin

$$E_{kerto,Q} := 10500 \frac{N}{mm^2}$$

Kerto Q:n kimmokerroin

Poikkileikkausmitat:

$$b_1 := \min(L \cdot 0.1 + b_{riipa}, k_{riipa}) = 600 \text{ mm}$$

$$h_1 := h_{ylälevy} = 27 \text{ mm}$$

Ylälevy

$$b_2 := b_{riipa} = 45 \text{ mm}$$

$$h_2 := h_{riipa} = 300 \text{ mm}$$

Riipa

$$b_3 := b_{alalaiippa} = 300 \text{ mm}$$

$$h_3 := h_{alalaiippa} = 45 \text{ mm}$$

Alalaiippa

Pinta-alat:

$$A_{ylälevy} := b_1 \cdot h_1 = 0.016 \text{ m}^2$$

Ylälevy

$$A_{riipa} := b_2 \cdot h_2 = 0.014 \text{ m}^2$$

Riipa

$$A_{alalaiippa} := b_3 \cdot h_3 = 0.014 \text{ m}^2$$

Alalaiippa

Pintakeskiöiden etäisyys yläpinnasta:

$$y_1 := \frac{h_{ylälevy}}{2} = 13.5 \text{ mm}$$

Ylälevy

$$y_2 := h_{ylälevy} + \frac{h_{riipa}}{2} = 177 \text{ mm}$$

Riipa

$$y_3 := h_{ylälevy} + h_{riipa} + \frac{h_{alalaiippa}}{2} = 349.5 \text{ mm} \quad \text{Alalaiippa}$$

Koko poikkileikkauksen pintakeskiö yläpinnasta:

$$y_0 := \frac{E_{kerto.Q} \cdot A_{ylälevy} \cdot y_1 + E_{kerto.S} \cdot A_{riipa} \cdot y_2 + E_{kerto.S} \cdot A_{alalaiippa} \cdot y_3}{E_{kerto.Q} \cdot A_{ylälevy} + E_{kerto.S} \cdot A_{riipa} + E_{kerto.S} \cdot A_{alalaiippa}} = 184.97 \text{ mm}$$

Pintakeskiöt koko poikkileikkauksen pintakeskiöstä:

$$y_{ylälevy} := y_0 - y_1 = 171.47 \text{ mm} \quad \text{Ylälevy}$$

$$y_{riipa} := y_0 - y_2 = 7.97 \text{ mm} \quad \text{Riipa}$$

$$y_{alalaiippa} := y_3 - y_0 = 164.53 \text{ mm} \quad \text{Alalaiippa}$$

Ylälevyn neliömomntti:

$$I_{ylälevy} := \frac{b_{ylälevy} \cdot h_{ylälevy}^3}{12} \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} + A_{ylälevy} \cdot y_{ylälevy}^2 \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} = (7.966 \cdot 10^8) \frac{1}{m} \cdot \text{mm}^4$$

Rivan neliömomntti:

$$I_{riipa} := \frac{b_{riipa} \cdot h_{riipa}^3}{12} \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} + A_{riipa} \cdot y_{riipa}^2 \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} = (1.702 \cdot 10^8) \frac{1}{m} \cdot \text{mm}^4$$

Alalaiipan neliömomntti:

$$I_{alalaiippa} := \frac{b_{alalaiippa} \cdot h_{alalaiippa}^3}{12} \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} + A_{alalaiippa} \cdot y_{alalaiippa}^2 \cdot \frac{1}{k_{alalaiippa}} = (6.129 \cdot 10^8) \frac{1}{m} \cdot \text{mm}^4$$

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys kantavaan suuntaan:

$$EI_l := E_{kerto.Q} \cdot I_{ylälevy} + E_{kerto.S} \cdot I_{riipa} + E_{kerto.S} \cdot I_{alalaiippa} = 19170302.944 \frac{N \cdot m^2}{m}$$

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys poikittaiseen suuntaan:

$$EI_b := E_{kerto.Q} \cdot \frac{b_{ylälevy} \cdot h_{ylälevy}^3}{12} \cdot \frac{1}{1 \text{ m}} = 17222.625 \frac{N \cdot m^2}{m}$$

Alin ominaistajuus

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_k}} = 18.231 \text{ Hz}$$

Lattiarakenteen alin ominaistajuus

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} = 1$$

Lattiarakenteen alimman ominaistajuuden tarkasteluraja

1 kN staattisen pistevoiman painuma

$$F := 1 \text{ kN}$$

1 kN pistevoima

$$k_\delta := \min \left( \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_l}}, \frac{2400 \text{ mm}}{L} \right) = 0.173$$

Apumuuttuja

$$\delta := \min \left( \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_\delta \cdot EI_l}, \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot k_{alalaiippa} \cdot EI_l} \right) = 0.258 \text{ mm}$$

1 kN pistekuorman aiheuttama painuma lattiarakenteessa

$$\delta \leq 0.5 \text{ mm} = 1$$

Mitoitusehto

**Lattian värähtelymitoitus (FprEN 1995-1-1(2024) mukaan)**Alin ominaistajuus

$$k_{e,1} := 1$$

Kerroin 1-aukkoiselle lattiarakenteelle

$$k_{e,2} := 1$$

Kerroin, joka huomioi lattiarakenteen poikittaisen jäykkyyden

$$f_1 := k_{e,1} \cdot k_{e,2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_k}} = 18.231 \text{ Hz}$$

Lattiarakenteen alin ominaistajuus

$$f_w := 1.5 \text{ Hz}$$

Kävelystä aiheutuva värähtelytaajuus asuinhuoneistossa

$$f_{\text{Lim}} := \max(8 \text{ Hz}, 4 \cdot f_w) = 8 \text{ Hz}$$

ominaistaajuden alaraja  
korkeataajuuslattiaille

### Taipuma

$$F := 1 \text{ kN}$$

Pistevoima

$$b_{ef} := \min\left(0.95 \cdot L \cdot \left(\frac{EI_b}{EI_1}\right)^{0.25}, B\right) = 986.83 \text{ mm}$$

tehollinen leveys

$$w_{1kN} := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_1 \cdot b_{ef}} = 0.238 \text{ mm}$$

1 kN:n pistevoiman aiheuttama  
taipuma lattiarakenteessa

### Värähtelynopeus

$$I_{\text{mod.mean}} := \left(\frac{42 \cdot \left(\frac{f_w}{\text{Hz}}\right)^{1.43}}{\left(\frac{f_1}{\text{Hz}}\right)^{1.3}}\right) \cdot N \cdot s = 1.722 \text{ N} \cdot \text{s}$$

impulssimoduuli

$$k_{\text{red}} := 0.7$$

pienennyskerroin

$$M_k := \frac{m_k \cdot B \cdot L}{2} = 2306.01 \text{ kg}$$

lattiarakenteen ominaismassa

$$v_{1.\text{peak}} := k_{\text{red}} \cdot \frac{I_{\text{mod.mean}}}{M_k + 70 \text{ kg}} = 0.00050729 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

huippunopeusvaste

$$k_{\text{imp}} := \max\left(1, 0.48 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) \cdot \left(\frac{EI_1}{EI_b}\right)^{0.25}\right) = 3.235$$

korkeammat värähtelymuodot  
huomioiva kerroin

$$v_{\text{tot.peak}} := k_{\text{imp}} \cdot v_{1.\text{peak}} = 0.00164088 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

kokonaishuippunopeusvaste

$$\zeta := 0.025$$

vaimennussuhde

$$\eta := 0.67$$

apumuuttuja, kun  $1.7 \leq k_{imp}$ 

nopeuden tehollisarvo:

$$v_{rms} := v_{tot.peak} \cdot \left(0.65 - 0.01 \cdot \frac{f_1}{Hz}\right) \cdot (1.22 - 11 \cdot \zeta) \cdot \eta = 0.0004858927 \frac{m}{s}$$

**Vertailu**

standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan:

18.231 Hz  $\geq 9$  Hz OK ominaistaajuus0.258 mm  $\leq 0.5$  mm OK taipuma

--&gt; täyttää ehdot

FprEN 1995-1-1(2024) mukaan:

18.231 Hz  $\geq 8$  Hz ei tarvitse tarkastaa kiihtyvyyssuorituskriteeriä ominaistaajuus0.238 mm  $\leq 0.25$  mm suoritusluokka I taipuma0.0004858927  $\frac{m}{s} \leq 0.0008$   $\frac{m}{s}$  suoritusluokka II nopeus

--&gt; rakenne kuuluu suoritusluokkaan II

### Lattian värähtelymitoitus (standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan)

Välipohjarakenne C, CLT-välipohja

Mitat

$$L := 6 \text{ m}$$

välipohjarakenteen pituus

$$B := 7 \text{ m}$$

välipohjarakenteen leveys

Materiaalitiedot:

Tilavuuspaino:

Korkeus:

Leveys / jakoväli (1 m:n kaistalla):

$$\rho_{\text{parketti}} := 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{parketti}} := 15 \text{ mm}$$

$$b_{\text{parketti}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{betoni}} := 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{betoni}} := 50 \text{ mm}$$

$$b_{\text{betoni}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{eriste}} := 85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{eriste}} := 50 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eriste}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{CLT}} := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{CLT}} := 180 \text{ mm}$$

$$b_{\text{CLT}} := 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{kipsilevy}} := 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{kipsilevy}} := 15 \text{ mm}$$

$$b_{\text{kipsilevy}} := 1000 \text{ mm}$$

$$m_{\text{parketti}} := \rho_{\text{parketti}} \cdot h_{\text{parketti}} = 9.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

parketin paino

$$m_{\text{betoni}} := \rho_{\text{betoni}} \cdot h_{\text{betoni}} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

betonin paino

$$m_{\text{eriste}} := \rho_{\text{eriste}} \cdot h_{\text{eriste}} = 4.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

eristeen paino

$$m_{\text{CLT}} := \rho_{\text{CLT}} \cdot h_{\text{CLT}} = 90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

CLT:n paino

$$m_{\text{kipsilevy}} := \rho_{\text{kipsilevy}} \cdot h_{\text{kipsilevy}} = 13.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

kipsilevyn paino

$$m_{\text{kok.}} := m_{\text{parketti}} + m_{\text{betoni}} + m_{\text{eriste}} + m_{\text{CLT}} + m_{\text{kipsilevy}} = 242.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_k := 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + m_{\text{kok.}} = 272.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Lattiarakenteen oman painon ja  
hyötykuormasta osuuden  $30 \text{ kg/m}^2$   
yhteenlaskettu massa

#### Taivutusjäykkyys

$$E_{CLT} := 11500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

CLT:n kimmomoduuli syyn  
suuntaan (Kuhmo CLT)

$$G_{R.mean} := 65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

CLT:n tasoleikkausmoduuli  
(Kuhmo CLT)

Poikkileikkausmitat:

$$b := 1000 \text{ mm}$$

tarkasteltava leveys

$$h_1 := 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

kantavan suunnan lamellien paksuus

$$h_2 := 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

poikittaisen suunnan lamellien paksuus

$$A_1 := b \cdot h_1 = (4 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

kantavan suunnan lamellien  
poikkileikkauspinta-ala

$$a_1 := \frac{h_{CLT}}{2} - \frac{h_1}{2} = 70 \text{ mm}$$

2 reunimmaisesta lamellin  
pintakeskiön etäisyys koko  
poikkileikkauksen pintakeskiöstä

$$y_1 := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{CLT} \cdot A_1 \cdot h_2}{G_{R.mean} \cdot b \cdot L^2}} = 0.945$$

$$I_{y,1} := \frac{b \cdot h_1^3}{12} + y_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = 190552580.505 \text{ mm}^4$$

2 reunimmaisesta lamellin  
tehollinen neliömomentti

$$I_{y,2} := \frac{b \cdot h_2^3}{12} = 5333333.333 \text{ mm}^4$$

keskimmäisen lamellin  
neliömomentti

$$I_L := 2 \cdot I_{y,1} + I_{y,2} = (3.864 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

tehollinen neliömomentti  
kantavaan suuntaan

$$A_2 := b \cdot h_2 = (3 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

poikittaisen suunnan lamellien  
poikkileikkauspinta-ala

$$a_2 := \frac{h_{CLT}}{2} - h_1 - \frac{h_2}{2} = 35 \text{ mm}$$

2 poikittaisen suunnan lamellin  
pintakeskiön etäisyys koko  
poikkileikkauksen pintakeskiöstä

$$L_{CLT} := 2500 \text{ mm}$$

CLT-elementin leveys

$$y_2 := \frac{1}{\pi^2 \cdot E_{CLT} \cdot A_2 \cdot \frac{h_2}{2} + \frac{1}{G_{R.mean} \cdot b \cdot L_{CLT}^2}} = 0.888$$

$$I_{y,3} := \frac{b \cdot h_2^3}{12} + y_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2 = 34895669.667 \text{ mm}^4$$

2 poikittaisen suunnan lamellin  
tehollinen neliömometti

$$I_B := 2 \cdot I_{y,3} = (6.979 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

tehollinen neliömometti  
poikittaiseen suuntaan

$$E_{betoni} := 30000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Betonivalun kimmokerroin

$$I_{betoni} := \frac{b_{betoni} \cdot h_{betoni}^3}{12} = (1.042 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

Betonivalun neliömometti

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys kantavaan suuntaan:

$$EI_l := E_{CLT} \cdot I_L \cdot \frac{1}{b} + E_{betoni} \cdot I_{betoni} \cdot \frac{1}{b} = (4.757 \cdot 10^6) \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattiarakenteen taivutusjäykkyys poikittaiseen suuntaan:

$$EI_b := E_{CLT} \cdot I_B \cdot \frac{1}{b} + E_{betoni} \cdot I_{betoni} \cdot \frac{1}{b} = (1.115 \cdot 10^6) \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Alin ominaistajuus

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_k}} \cdot \sqrt{1 + \left( 2 \cdot \left( \frac{L}{B} \right)^2 + \left( \frac{L}{B} \right)^4 \right) \cdot \frac{EI_b}{EI_l}} = 6.992 \text{ Hz}$$

Lattiarakenteen alin  
ominaistajuus (neljä  
reunaa tuettu)

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} = 0$$

Lattiarakenteen alimman  
ominaistajuuden tarkasteluraja

1 kN staattisen pistevoiman painuma

$$F := 1 \text{ kN}$$

1 kN pistevoima

$$k_{\delta} := \min \left( \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_l} \frac{L_{CLT}}{L}} \right) = 0.417$$

Apumuuttuja

$$\delta := \min \left( \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_{\delta} \cdot EI_l}, \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot b \cdot EI_l} \right) = 0.432 \text{ mm}$$

1 kN pistekuorman aiheuttama painuma lattiarakenteessa

$$\delta \leq 0.5 \text{ mm} = 1$$

Mitoitusehto

**Lattian värähtelymitoitus (FprEN 1995-1-1(2024) mukaan)**Alin ominaistaajuus

$$k_{e.1} := 1$$

Kerros 1-aukkoiselle lattiarakenteelle

$$k_{e.2} := \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^4 \cdot \frac{EI_b}{EI_l}} = 1.061$$

Kerros, joka huomioi lattiarakenteen poikittaisen jäykkyyden

$$f_1 := k_{e.1} \cdot k_{e.2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_k}} = 6.119 \text{ Hz}$$

Lattiarakenteen alin ominaistaajuus

$$f_w := 1.5 \text{ Hz}$$

kävelystä aiheutuva värähtelytaajuus asuinhuoneistossa

$$f_{1.lim} := \max(8 \text{ Hz}, 4 \cdot f_w) = 8 \text{ Hz}$$

ominaistaajuuden alaraja korkeataajuuslattioille

Taipuma

$$F := 1 \text{ kN}$$

Pistevoima

$$b_{ef} := \min \left( 0.95 \cdot L \cdot \left( \frac{EI_b}{EI_l} \right)^{0.25}, B \right) = (3.966 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

tehollinen leveys

$$w_{1kN} := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_l \cdot b_{ef}} = 0.239 \text{ mm}$$

1 kN:n pistevoiman aiheuttama taipuma lattiarakenteessa

Värähtelynopeus

$$I_{mod.mean} := \left( \frac{42 \cdot \left( \frac{f_w}{Hz} \right)^{1.43}}{\left( \frac{f_1}{Hz} \right)^{1.3}} \right) \cdot N \cdot s = 7.119 \text{ N} \cdot s$$

impulssimoduuli

$$k_{red} := 0.7$$

pienennyskerroin

$$M_k := \frac{m_k \cdot B \cdot L}{4} = 2861.25 \text{ kg}$$

lattiarakenteen ominaismassa

$$v_{1,peak} := k_{red} \cdot \frac{I_{mod.mean}}{M_k + 70 \text{ kg}} = 0.00170003 \frac{m}{s}$$

huippunopeusvaste

$$k_{imp} := \max \left( 1, 0.48 \cdot \left( \frac{B}{L} \right) \cdot \left( \frac{EI_l}{EI_b} \right)^{0.25} \right) = 1$$

korkeammat värähtelymuodot huomioiva kerroin

$$v_{tot,peak} := k_{imp} \cdot v_{1,peak} = 0.00170003 \frac{m}{s}$$

kokonaishuippunopeusvaste

$$\zeta := 0.04$$

vaimennussuhde

$$\eta := 1.35 - 0.4 \cdot k_{imp} = 0.95$$

apumuuttuja, kun  $1 \leq k_{imp} \leq 1.9$

nopeuden tehollisarvo:

$$v_{rms} := v_{tot,peak} \cdot \left(0.65 - 0.01 \cdot \frac{f_1}{Hz}\right) \cdot (1.22 - 11 \cdot \zeta) \cdot \eta = 0.0007417397 \frac{m}{s}$$

Kiihtyvyys, kun  $f_1 < f_{1,lim}$

$$F_{dyn} := 50 \text{ N}$$

pystysuuntainen voima, vakio

$$k_{res} := \max\left(0.19 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) \cdot \left(\frac{EI_l}{EI_b}\right)^{0.25}, 1\right) = 1$$

korkeammat värähtelymuodot huomioiva kerroin

$$\mu_{res} := 0.4$$

resonanssin voimistumiskerroin

$$a_{rms} := \frac{k_{res} \cdot \mu_{res} \cdot F_{dyn}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot \zeta \cdot M_k} = 0.062 \frac{m}{s^2}$$

kiihtyvyyden tehollisarvo

### Vertailu

standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan:

|                        |       |                |
|------------------------|-------|----------------|
| 6.992 Hz $\geq$ 9 Hz   | EI OK | ominaistaajuus |
| 0.432 mm $\leq$ 0.5 mm | OK    | taipuma        |

--> ei täytä ehtoja

FprEN 1995-1-1(2024) mukaan:

|  |                                  |                |
|--|----------------------------------|----------------|
| 6.119 Hz $\geq$ 4.5 Hz                               | kiihtyvyyssriteeri tarkastettava | ominaistaajuus |
| 0.239 mm $\leq$ 0.25 mm                              | suoritusluokka I                 | taipuma        |
| 0.0007417397 $\frac{m}{s} \leq$ 0.0008 $\frac{m}{s}$ | suoritusluokka II                | nopeus         |
| 0.062 $\frac{m}{s^2} \leq$ 0.08 $\frac{m}{s^2}$      | suoritusluokka IV                | kiihtyvyys     |

--> rakenne kuuluu suoritusluokkaan IV