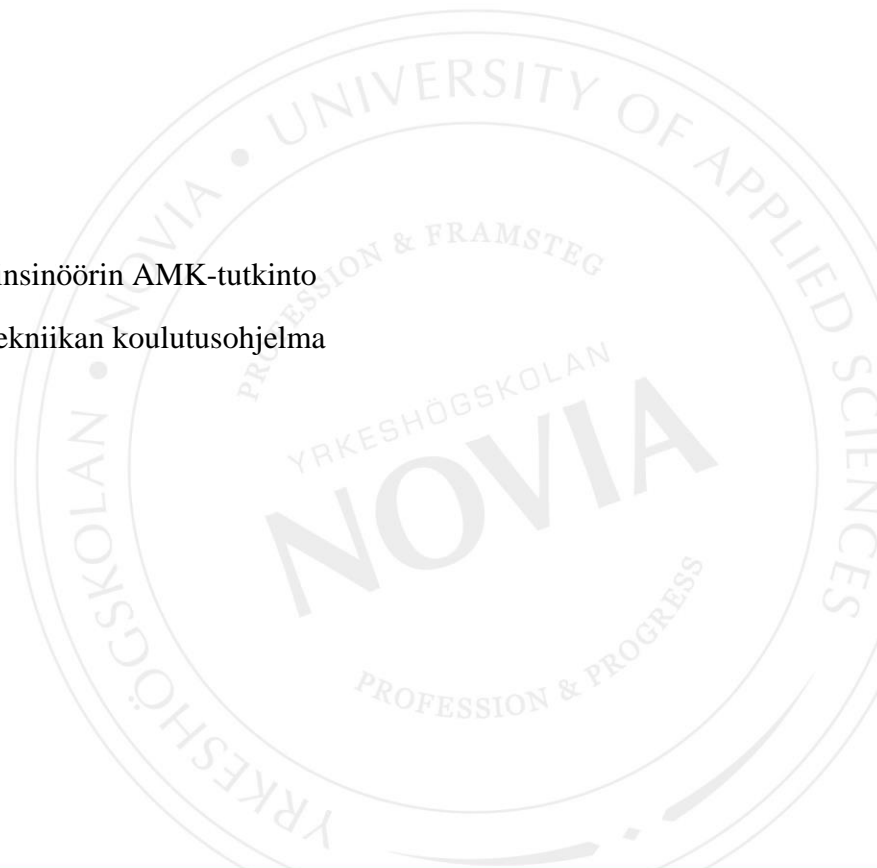


# Ontelolaataston värähtely

Kristian Söderström

Opinnäytetyö – Rakennusinsinöörin AMK-tutkinto  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
Vaasa 2020



## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Kristian Söderström  
Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Vaasa  
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu  
Ohjaajat: Allan Andersson, Anders Borg

Nimike: Ontelolaataston värähtely

---

Päivämäärä: 21.4.2020

Sivumäärä: 30

Liitteet: 1

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty WasaPlan Oy:n toimeksiannosta. Tämä työ sai alkunsa siitä, että tilaaja tarvitsi työkalun, jolla rakennesuunnittelija itse pystyisi tarkastamaan ontelolaataston värähtelyä.

Opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä laskentapohja, jolla rakennesuunnittelijat voivat tarkastella askelherätteestä johtuvaa ontelolaataston värähtelyä jo luonnosvaiheessa. Yleensä laattatyypit valitaan kantavuuden tai ääneneristävyyden perusteella, mutta kohteissa, joissa värähtelylle on tiukemmat vaatimukset voi värähtely astua merkittävään rooliin. Värähtely ei välttämättä heikennä laataston kantokykyä, mutta se voi aiheuttaa epämukavuuden tunnetta rakennuksen käyttäjille.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi mm. ontelolaattoja yleisesti, ontelolaataston suunnitteluprosessia rakennesuunnittelijan näkökulmasta sekä värähtelyn perusteita. Työ jatkuu tarkastelemalla värähtelyä koskevia ohjeistuksia ja raja-arvoja Suomessa. Betonista tehtyjen välipohjien värähtelyn tarkasteluun ei ole Suomessa erityisiä ohjeita tai määräyksiä. Työssä esitetään käsinlaskenta ontelolaataston värähtelystä, kun laatasto on tuettu kantaville seinille sekä palkeille, jonka jälkeen tuloksia vertaillaan ohjeistuksien raja-arvoihin.

Työn lopputulos on, että Excel-laskentapohja on laadittu ja automatisoitu näiden laskelmien pohjalle. Pohjan avulla rakennesuunnittelijat voivat helposti ja nopeasti tarkastella laataston värähtelyä.

---

Kieli: suomi

Avainsanat: ontelolaatta, värähtely, ominaistaajuus, välipohja

---

## EXAMENSARBETE

Författare: Kristian Söderström  
Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Konstruktionsplanering  
Handledare: Allan Andersson, Anders Borg

Titel: Vibrationer hos håldäcksbjälklag

---

Datum: 21.4.2020

Sidantal: 30

Bilagor: 1

---

### Abstrakt

Detta examensarbete har gjorts på uppdrag av WasaPlan Ab. Arbetet grundar sig i att beställaren önskade få ett verktyg för att konstruktören själv kunde granska vibrationerna i håldäcksbjälklag.

Syftet med detta examensarbete var att göra en beräkningsbotten för att granska vibrationer i håldäcksbjälklag på grund av fotsteg. Vanligen väljs typ av håldäcksplatta på grund av bärförmåga eller ljudisolering, men i tillfällen där det är högre krav på vibrationer kan den bli dimensionerande. Vibration minskar inte nödvändigtvis bärförmågan i bjälklag, men den kan ha upphov till obehagliga känslor hos byggnadens användare.

Examensarbetet inleds med en teoridel där det presenteras bland annat allmän information av håldäcksplattor, planeringsprocessen för håldäcksbjälklag från konstruktörens synvinkel och grundteori om vibration. Arbetet fortsätter med att ta upp anvisningar och gränsvärden som gäller för vibrationer i bjälklag i Finland. För bjälklag gjorda av betong finns det inga särskilda anvisningar i Finland när vibrationer behandlas. I arbetet presenteras handkalkyler för bestämning av vibrationerna i håldäcksbjälklag, både då bjälklaget är stödd på bärande väggar och på balkar, varefter resultat jämförs med gällande gränsvärden.

Arbetets resultat blev ett automatiserat beräkningsbotten i Excel, som grundar sig på detta arbete. Med hjälp av den kan konstruktören granska vibrationerna i bjälklag snabbt och enkelt.

---

Språk: finska

Nyckelord: håldäcksplatta, vibration, egenfrekvens, mellanbjälklag

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Kristian Söderström  
Degree Programme: Civil and Construction Engineering, Vaasa  
Specialization: Structural Engineering  
Supervisors: Allan Andersson, Anders Borg

Title: Vibration of Hollow-Core Slabs

---

Date: April 21, 2020      Number of pages: 30      Appendices: 1

---

### **Abstract**

This thesis is made on behalf of WasaPlan Oy. The starting point of the project was when the client needed a calculation model for analysis of vibrations in hollow-core slabs.

The purpose of my thesis was to make a calculation model for analysis of walking-induced vibrations in hollow-core slabs which could be used by the structural engineers at the firm. Normally the size of the slab is chosen due to load capacity or soundproofing but in some cases the criteria for vibrations could be the dimensioning factor. Vibration does not necessarily weaken the load capacity of the slab, but it can create an uncomfortable feeling for the users of the building.

The thesis work begins with a theoretical part where general information about hollow-core slabs and the planning process of the slab from the structural engineer's point of view are presented. After that the Finnish instructions and acceptance limits for vibrations in slabs are reviewed. There are not any specific instructions for analyzing vibrations in concrete slabs in Finland. The work continues with a calculation phase of the vibrations in hollow-core slabs both when the slab is supported on walls and on beams. After that the results are compared with the acceptance limits and placed in their own vibration class.

The result of this thesis is an automatized Excel calculation model which is based on the calculations of this work. With the help of the calculation model the structural engineers at the firm can easily and quickly analyze the vibrations of the slab.

---

Language: Finnish      Key words: hollow-core slab, vibration, natural frequency, floors

---

# Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	WasaPlan Oy.....	1
1.2	Ongelmanasettelu.....	1
1.3	Rajaus.....	2
2	Ontelolaatta.....	2
2.1	Suunnittelu.....	3
2.1.1	Suunnitteluprosessin vaiheet.....	3
2.1.2	Päärakennesuunnittelijan tehtävät.....	3
2.1.3	Lähtötiedot punossuunnitteluun.....	4
3	Värähtely.....	5
3.1	Ominaisvärähtely.....	5
3.2	Värähtely ontelolaatastossa.....	6
3.3	Värähtelyn haitallisuus.....	6
3.4	Raja-arvot.....	7
4	Laskenta.....	10
4.1	Laataston materiaaliominaisuudet.....	10
4.2	Poikkileikkaus.....	10
4.2.1	Pintalaatta.....	10
4.2.2	Jäyhyysmomentti.....	12
4.3	Poikkileikkaus poikittaissuuntaan.....	14
4.4	Ominaistaajuus.....	14
4.4.1	Alin ominaistaajuus jäykällä tuella.....	15
4.4.2	Alin ominaistaajuus joustavalla tuella.....	15
4.5	Kiihtyvyysskriteeri matalataajuuksisilla lattioilla.....	16
4.5.1	Lattian tehollinen massa jäykällä tuella.....	17
4.5.2	Lattian tehollinen massa joustavalla tuella.....	17
4.6	Taipumaehto korkeataajuuksisilla lattioilla.....	18
4.7	Kallistumaehto kaikilla lattioilla.....	19
4.8	Korotuslattian ja kelluvan lattian vaikutus värähtelyyn.....	19
4.9	Väliseinien vaikutus värähtelyyn.....	19
5	Laskentaesimerkki.....	20
5.1	Materiaaliominaisuuksien laskenta.....	21
5.2	Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta.....	21

5.2.1	Jäyhyysmomentin laskenta .....	22
5.3	Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta poikittaissuuntaan.....	22
5.3.1	Jäyhyysmomentin laskenta poikittaissuuntaan .....	23
5.4	Ominaistaajuuden laskenta .....	23
5.4.1	Alin ominaistaajuus jäykällä tuella.....	23
5.4.2	Alin ominaistaajuus joustavalla tuella.....	24
5.5	Kiihtyvyyssamplitudin laskenta matalataajuuksisilla lattioilla .....	24
5.5.1	Kiihtyvyyssamplitudin laskenta jäykällä tuella .....	25
5.5.2	Kiihtyvyyssamplitudin laskenta joustavalla tuella.....	25
5.6	Taipuman laskenta korkeataajuuksisilla lattioilla.....	26
5.7	Kallistuman laskenta.....	27
6	Laskennan kulku.....	28
7	Excel-laskentapohja.....	29
8	Pohdinta.....	29
	Lähteet .....	31

## **Liitteet**

Liite 1: Excel-laskentapohja, Ontelolaataston värähtelymitoitus

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä laskentapohja, jolla rakennesuunnittelijat voivat tarkastella askelherätteestä johtuvaa ontelolaataston värähtelyä jo luonnosvaiheessa. Käytettävä laattatyyppejä valitaan yleensä joko kantavuuden tai ääneneristävyyden perusteella, jolloin värähtelyn tarkastelu on jäänyt vähemmälle huomiolle. Erityisesti betonista tehtyjen välipohjien kuten ontelolaattojen värähtelyn tarkasteluun ei ole erikseen määrättyjä ohjeita tai määräyksiä Suomessa. Värähtely ei välttämättä alenna laataston kantokykyä, mutta se voi aiheuttaa epämukavuuden tunnetta rakennuksen käyttäjille.

Tässä työssä käydään läpi, kuinka käsinlaskennalla voidaan tarkastella ontelolaataston värähtelyä suomalaisen ohjeistuksen mukaan, ja selvitetään raja-arvot askelherätteestä johtuvalle lattian värähtelylle. Teoriaosuudessa selitetään ominaisvärähtelyn periaatteet, johon ontelolaataston värähtelyn laskenta perustuu.

Työn teoriaosuudessa käydään myös läpi mm. ontelolaattojen yleistä tietoa ja toimintaperiaatetta sekä ontelolaataston vaiherikasta suunnitteluprosessia. Työssä keskitytään erityisesti rakennesuunnittelijan eri työvaiheisiin ontelolaataston suunnittelussa.

## 1.1 WasaPlan Oy

WasaPlan on osa WasaGroup-konsernia, jonka muita tytäryhtiöitä ovat rakennusliike WasaCon, konevuokraamo WasaTrade sekä kiinteistösijoitusrahasto WasaGroup Funds.

WasaPlan tarjoaa arkkitehti- ja rakennesuunnittelupalveluita sekä rakennuttamispalveluita. WasaPlanilla on myös omat sähkö- ja LVI-suunnitteluosastonsa. Asiakkaita ovat mm. rakennusliikkeet, talotehtaat, asunto- ja kiinteistöyhtiöt, teollisuuden toimijat ja julkinen sektori sekä yksityishenkilöt ympäri Suomen. (WasaGroup, 2020)

## 1.2 Ongelmanasettelu

Ongelmana on ollut, että rakennesuunnittelijalla ei ole ollut riittävää tietoa ontelolaataston värähtelystä projektin alussa. Laataston värähtelyominaisuuksista on saatu tietoa vasta ontelolaattojen tilausvaiheessa yhteistyössä laattojen valmistajan kanssa. Tämä saattaa aiheuttaa turhia ongelmia rakenneratkaisujen suhteen ja pahimmassa tapauksessa jouduttaisiin muuttamaan esimerkiksi ontelolaataston kokoa tai siihen liittyviä rakenteita.

Laskentapohjan avulla rakennesuunnittelijat voivat tarkastella värähtelyä jo projektin alussa ja sitä myöden säästyä ikäviltä yllätyksiltä myöhemmissä vaiheissa.

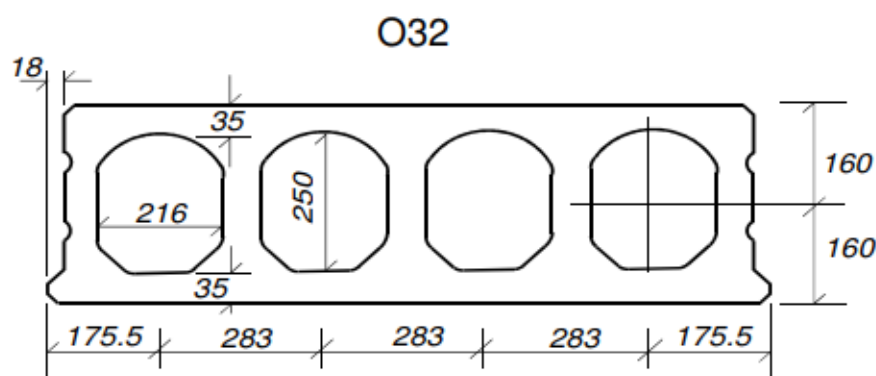
### 1.3 Rajaus

Tässä työssä keskitytään ainoastaan ontelolaattoihin eikä muista rakennusmateriaaleista tai massiivisesta betonista tehtyihin laattoihin. Työssä ei myöskään käsitellä yleistä ontelolaattojen mitoitusta ja kapasiteetilaskentaa.

Värähtelyn suunnitteluperusteeksi on laskettu ihmisen kävelystä aiheutuva värähtely, joten tämän työn tulosta ei voida käyttää koneista aiheutuvan värähtelyn tarkasteluun. Tämä työ on tehty asuin- tai toimistotiloja koskevan ohjeen mukaan eli tämän työn laskentamenetelmiä ei voida käyttää esimerkiksi liike- ja liikuntatilojen lattioiden värähtelytarkastelussa.

## 2 Ontelolaatta

Ontelolaatta on yleisin laattaelementtityyppi, jota käytetään asuin-, liike- ja teollisuusrakennuksissa. Ontelolaatat ovat esijännitetyjä laattaelementtejä, joissa on pituussuunnassa kulkevia onteloita. Kuvassa 1 on esitetty poikkileikkaus O32-ontelolaatasta. Ontelolaattojen valmistukseen käytetään C40–70-lujuusluokan betonia. Onteloiden sekä laatan muoto ja koko vaihtelevat ontelolaatan korkeuden mukaan. Ontelolaattojen valmistuspaksuudet ovat 150, 200, 265, 320, 370, 400 ja 500 mm. Laattojen vakioleveys on 1200 mm. (Betoniteollisuus Ry, 2010, s. 50)



Kuva 1. Esimerkki ontelolaatasta, O32. (Suomen Betoniyhdistys Ry, 2012, s. 4)

Ontelolaattojen valmistus tapahtuu pitkillä valualustoilla lähes automaattisena tuotantona. Laatat valetaan liukuvalukoneilla ja katkaistaan suunnitelmien mukaiseen pituuteen betonin saavutettua riittävän lujuuden. (Betoniteollisuus Ry, 2010, s. 50)



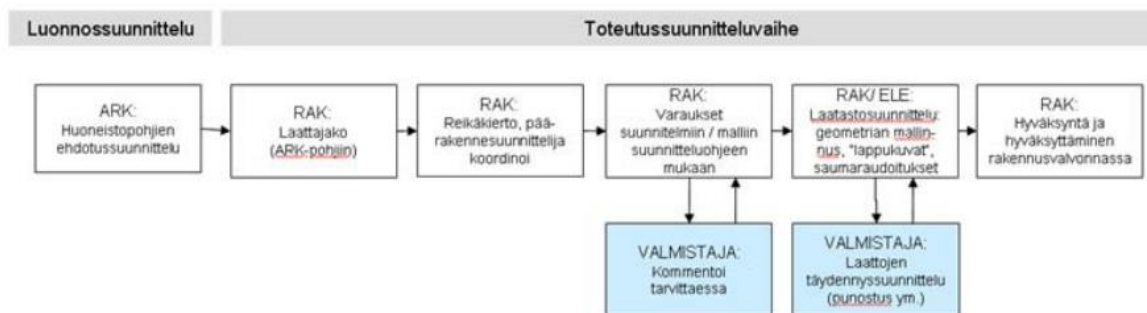
## 2.1 Suunnittelu

Suunnittelun tavoitteena on, että laatastossa pystytään käyttämään niin paljon ehjiä laattoja kuin on mahdollista. Jos laattoja joudutaan kaventamaan, tehdään kavennukset onteloiden kohdalta. Kavennetut laatat tehdään sahaamalla ehjistä laatoista. Laattatyyppejä valitaan yleensä kantavuuden perusteella, mutta varsinkin asuinrakennuksissa ääneneristävyys voi olla mitoittava kriteeri. (Betoniteollisuus Ry, 2010, s. 51–52)

### 2.1.1 Suunnitteluprosessin vaiheet

Ontelolaataston suunnitteluprosessi sisältää monen eri suunnittelijan yhteistyötä. Kuvassa 2 on esitetty suunnittelun vaiheiden järjestys. Arkkitehti laatii huoneistopohjat, joista rakennesuunnittelija tekee laattajaon. Tämän jälkeen laatat lähtevät reikäkiertoon, jossa talotekniikkasuunnittelu merkitsee tarvittavat rei'itykset ohjeiden mukaisesti. Rakennesuunnittelija valvoo, että reiät ovat toteutettavissa ja ohjeiden mukaiset. Tarvittaessa laattavalmistaja voi kommentoida rei'ityksiä. (Betoniteollisuus Ry, 2012, s. 3)

Tämän jälkeen rakennesuunnittelija antaa tarvittavat lähtötiedot laattavalmistajalle, joka suunnittelee laattojen punokset, jonka jälkeen rakennesuunnittelija hyväksyy ja hyväksyttää suunnitelmat rakennusvalvonnassa. (Betoniteollisuus Ry, 2012, s. 3)



Kuva 2. Ontelolaataston suunnitteluvaiheet. (Betoniteollisuus Ry, 2012, s. 3)

### 2.1.2 Päärakennesuunnittelijan tehtävät

Päävastuu ontelolaataston suunnittelusta on päärakennesuunnittelijalla, joka koordinoi suunnitteluprosessia.

Rakennesuunnittelijan pääasialliset työn vaiheet ovat

- Kantavien linjojen ja kuormien määrittäminen
- Ontelolaattojen koon ja tyyppin valinta (vaikuttavat asiat: kuormat, ääni- ja askeleristävyys, palonkestovaatimukset, värähtely ja sekä tuleeko laataston päälle pintalaatta, kelluva laatta vai onko kyseessä kylpyhuonelaatta)
- Laataston ja palkkien yhteistoiminnan tarkistus, mikäli laatat tukeutuvat palkistoon (esim. Flexibl matalapalkkien tarkistusohjelmaa käyttäen)
- Laattajaon tekeminen
- Sauma- ja rengasraudoituksen mitoitus (mikäli laatat toimivat jäykistävänä rakenteena huomioidaan se tässä vaiheessa)
- Mahdollisten jäykistävien seinien ja laataston välisten liitosten tarkistus
- Ontelolaattojen päällä olevien huoneistojen välisten seinien merkitseminen ontelokaavioihin (ääneneristävyys ja palo-osastointi syistä näissä kohdissa laatan ontelo valetaan umpeen)
- Reikäkierros (sähkö ja LVI)
- Tarkistetaan että rei'itykset ovat suunnitteluohjeiden mukaiset ja toteuttamiskelpoisia. Reikien ja varausten sijaintien tarkistaminen sekä merkitseminen kuviin
- Ontelokaavioiden sekä taulukoiden laatiminen valmistajan ohjeiden mukaan
- Ontelolaattatunnusten, kuormien ja raskaampien seinien merkitseminen tasokuvaan (Bredbacka, 2020)

### 2.1.3 Lähtötiedot punossuunnitteluun

Rakennesuunnittelijan täytyy antaa punossuunnittelijalle tarvittavat lähtötiedot. Näihin asioihin kuuluu vähintään seuraavat asiat:

- Laattojen tukipituus
- Laattojen tunnuksot
- Reiät ja varaukset sekä niiden sijainnit
- Kuormaluokka ja seuraamusluokka eurokoodien mukaan
- Kaikki laattoihin kohdistuvat kuormatiedot mm. hormit, kylpyhuone-elementit, väliseinät yms. Pysyvät kuormat ja hyötykuormat eurokoodin mukaisesti.
- Laataston palonkestovaatimus merkittynä sekä tasopiirustukseen että lappukuvin
- Laataston rasitusluokka ja suunnittelukäyttöikä (Betoniteollisuus Ry, 2012, s. 4)

Jos ontelolaattoja tuetaan joustavalle tuelle, esimerkiksi palkeille, tulee punossuunnittelijalle ilmoittaa:

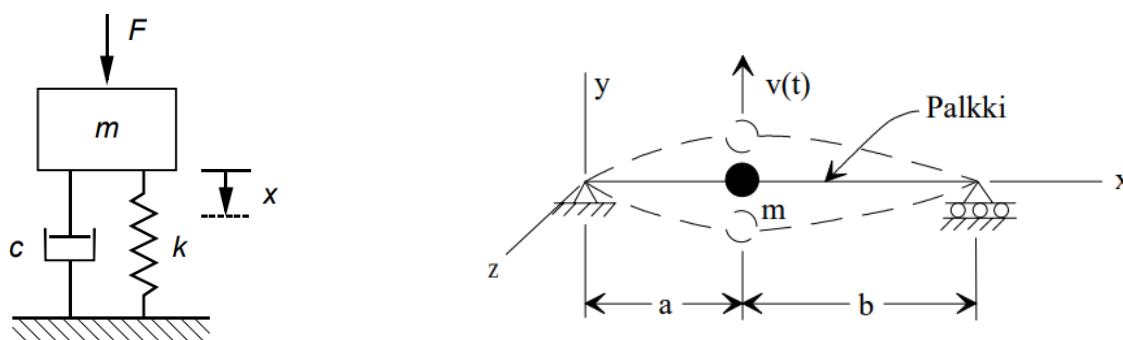
- Palkkityypit sekä palkkien tunnukset tasopiirustukseen niin hyvin kuin on mahdollista
- Palkkien mitoitustiedot ja teräspalkeista myös levypaksuudet
- Rakennetyypit niiltä alueilta, jossa ontelolaatat tuetaan joustavalle tuelle (Betoniteollisuus Ry, 2012, s. 4)

### 3 Värähtely

Tässä kappaleessa käydään läpi värähtelyn perusteita sekä värähtelyä lattioissa ja ontelolaatoissa. Lattiat jaetaan eri taajuusluokkiin riippuen lattian ominaistajuudesta. Tämän jälkeen käydään läpi värähtelyn haitallisuutta ja raja-arvoja lattioiden värähtelylle suomalaisen ohjeistuksen mukaan.

#### 3.1 Ominaisvärähtely

Usean eri vapausasteen dynaaminen systeemi on erittäin hankala määrittää ja vaati usein FEM-analyysiä värähtelyn tarkasteluun. Vähemmän monimutkaisissa tapauksissa pystytään systeemi yksinkertaistamaan yhden vapausasteen värähtelyyn. Kuvassa 3 on esitetty kriteerit yhden vapausasteen värähtelijälle. Massa  $m$  pystyy liikkumaan ainoastaan yhteen suuntaan jäykkyydellä  $k$  jota kuvaillaan jousena. Systemin vaimentimena toimii  $c$  ja herätteenä on massaan kohdistuva voima  $F$ . (Tapio, 2002, s. 2/12; Lindman & Gustafsson, 2016, s. 5)



Kuva 3. Yksinkertainen yhden vapausasteen vaimennettu värähtelijä (vas.). (Tapio, 2002, s. 2/12)

Kuva 4. Yhden vapausasteen värähtelymalli palkille (oik.). (Talja, 1996, s. 17)

Ontelolaatan värähtely voidaan idealisoida esimerkiksi kuvan 4 mukaan. Kun systeemissä ei ole vaimenninta ( $c = 0$ ), massa värähtelee harmonisesti sille ominaisella taajuudella.

Täten systeemin ominaistaajuus voidaan laskea lausekkeesta (Talja, 1996, s. 17)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.1)$$

### 3.2 Värähtely ontelolaatastossa

Tässä työssä lattian värähtelyominaisuuksia tarkastellaan VTT:n julkaiseman ohjeen mukaan. Ohje perustuu aikaisempiin ohjeistuksiin sekä aiemmin tehtyihin tutkimuksiin ja testeihin. VTT:n esityksen mukaan lattiat on jaettu seuraaviin ryhmiin:

1. Matalataajuiset lattiat, joissa alin ominaistaajuus on alle 10 Hz. Näissä lattioissa jänneväli on yleensä yli 10 m ja paino on useimmiten yli 300 kg/m<sup>2</sup>. Nämä lattiat ovat massiivisia ja yleensä betonia tai terästä. Tällaisissa välipohjissa erottuu selvästi lattian ominaisvärähtely, josta yksittäisten askelten luomaa värähtelyä on lähes mahdoton erottaa. Ominaisvärähtely voi tosin tuntua epämiellyttävältä ihmiskehossa. (Talja, Toratti & Järvinen, 2002, s. 14)
2. Korkeataajuiset lattiat, Näissä lattioissa jänneväli on yleensä alle 10 m ja paino on useimmiten alle 300 kg/m<sup>2</sup>. Nämä lattiat ovat useimmiten puuta tai terästä. Tällaisissa välipohjissa ihmisen keho voi yleensä erottaa selvästi erillisten askelten aiheuttaman värähtelyn. (Talja ym., 2002, s. 15)
3. Kelluvat lattiat ja korotuslattiat kuuluvat korkeataajuisiin lattioihin, mutta ovat silti oma ryhmänsä. Niitä käytetään sekä korkea- että matalataajuisien lattioiden kanssa. Niissä värähtelyn huomaa enemmän lähinnä paikallisena joustona. Ihmisten siirtyessä paino siirtyy ja lattioilla voi syntyä paikallista taipumaa sekä kallistumia lattian pintaan. Tästä voi aiheutua haitallista kasvien heilumista tai kevyiden esineiden kilinää. (Talja ym., 2002, s. 15)

### 3.3 Värähtelyn haitallisuus

Värähtelyn haitallisuus on osittain riippuvainen rakennuksen käyttötarkoituksesta. Omakotitaloissa ja mökeissä sallitaan voimakkaampaa värähtelyä kuin esimerkiksi kerrostalohuoneistossa tai toimistorakennuksessa. Ihmiskeho ja useat esineet ovat herkkiä lattioiden värähtelylle. Keho voi tuntea pienimmätkin värähtelyt haitallisina tai epämiellyttävinä. Värähtely, joka siirtyy huonekaluihin, astioihin, lasiesineisiin tai kasveihin voi aiheuttaa haitallista melua tai esineiden heiluntaa. Jatkuva värähtely koetaan usein

enemmän haitallisena kuin hetkelliset, satunnaiset värähtelyt tai iskut. (Talja ym., 2002, s. 15)

### 3.4 Raja-arvot

VTT:n ohjeen mukaan lattiat sijoitetaan eri värähtelyluokkiin, jotka riippuvat värähtelyiden seurauksista. Luokilla ovat omat kirjaimensa joka kuvaa värähtelyiden aistittavuutta kehossa ihmisen istuessa ja numerosta, joka kuvaa värähtelyn voimakkuutta esineissä (Taulukko 1). Luokitukset annetaan ihmisen kävelystä aiheutuvasta värähtelystä. Taulukossa 1 arvioidaan värähtelyn voimakkuutta. Koska värähtelyn aistittavuus on hyvin henkilökohtaista kannattaa esitettyjä kuvauksia pitää suuntaa antavina. Myös esineiden värähtelyissä on tuotekohtaisia eroja. (Talja ym., 2002, s. 15–16)

**Taulukko 1. Värähtelyn voimakkuudet eri värähtelyluokissa. (Talja ym., 2002, s. 16)**

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

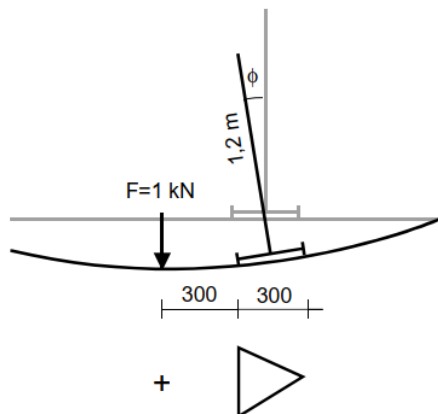
Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 2 esitetään esimerkkejä asuin- ja toimistorakennusten vähimmäisluokituksesta. Luokitus on aina rakennuskohtainen ja sovitaan rakennuttajan kanssa. Tietyille rakennusosille ja jänneväleille voidaan sopia korkeammasta tai alemmasta luokasta jos se on perusteltua aiemmista rakennuskohteista saaduista kokemuksista. ”Kelluvilla lattioilla ja korotuslattioilla on perusteltua käyttää yhtä luokkaa parempaa luokitusta kuin taulukossa 2 on esitetty, kun luokitus tehdään esineisiin syntyvän värähtelyn perusteella ja kun luokituksen toimivuutta ei ole kokeellisesti varmistettu.” Syy tähän on, että nykyinen kokemus raja-arvojen soveltuvuudesta esineiden värähtelyn haitallisuuteen on vähäinen. (Talja ym., 2002, s. 16)

Taulukko 2. Esimerkkejä värähtelyluokkien soveltamisesta. (Talja ym., 2002, s. 17)

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

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 3 esitetään suosituksia laskennassa käytössä olevista raja-arvoista. Raja-arvot on annettu seuraaville ominaisuuksille:

- Lattian alin ominaistajuus  $f_0$  (Hz). Tämän avulla jaetaan lattiat joko matala- tai korkeataajuuksisiin lattioihin. ( $f_0 = 10$  Hz)
- Kiihtyvyyssamplitudi  $a$  ( $m/s^2$ ). Tämä raja-arvo koskee matalataajuuksisia lattioita, joka kertoo kiihtyvyyden puhtaasti ominaistajuudella tapahtuvaa värähtelyä.
- 1 kN paikallisesta voimasta aiheutuva sallittu siirtymä  $\delta$  (mm). Taipumaehto koskee korkeataajuuksisia lattioita, korotuslattioita ja kelluvia lattioita.
- 1 kN paikallisesta voimasta aiheutuva sallittu kallistuma  $\varphi$  (mm/1,2 m) (kuva 5). Ehtoa käytetään matala- ja korkeataajuuksisissa lattioissa sekä korotuslattioilla että kelluvilla lattioilla silloin kun esineiden värähtely on arviointikriteerinä. (Talja ym., 2002, s. 17)



Kuva 5. 1 kN pistekuormasta johtuva lattian pinnan kallistuma. (Talja ym., 2002, s. 18)

Rakenteiden taipumien on täytettävä eri materiaaleja koskevissa Eurokoodeissa asetettujen lujuus- ja taipumisehdot.

Mikäli huoneen suurin leveys tai pituus  $L$  on enintään 6 m, taulukossa 3 sallittuja kiihtyvyyden ja taipumarajoja voidaan kasvattaa kertoimella: (Talja ym., 2002, s. 18)

$$k_L = \frac{1}{0,318 + 0,114L} \quad (3.2)$$

Tällä kertoimella huomioidaan kävelynopeus, joka on oletetusti keskimäärin pienempi pienissä tiloissa, jolloin kävelystä aiheutuva dynaaminen kuormitus pienentyy. Kallistumisehdoissa sekä huoneistoista toiseen aiheutuvan värähtelyn yhteydessä tätä pienennyskerrointa ei käytetä. (Talja ym., 2002, s. 18)

Taulukko 3. Laskennassa käytettävät raja-arvot. (Talja ym., 2002, s. 19)

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

## 4 Laskenta

Tässä kappaleessa esitetään laskenta ontelolaatan värähtelytarkastelusta, aina laataston materiaali- ja poikkileikkausominaisuuksien laskennasta, lopulliseen värähtelyn mitoittamiseen eri kriteerien perusteella.

### 4.1 Laataston materiaaliominaisuudet

Tarvittavia materiaaliominaisuuksia ovat mm. betonin lieriölujuus, joka määrää betonin kimmokertoimen suuruuden. Ontelolaatan taivutusjäykkyys  $EI$  tarvitaan värähtelyn tarkastelua varten.

Betonin kimmokerroin  $E$  voidaan laskea kaavasta (SFS-EN 1992-1-1, Taulukko 3.1)

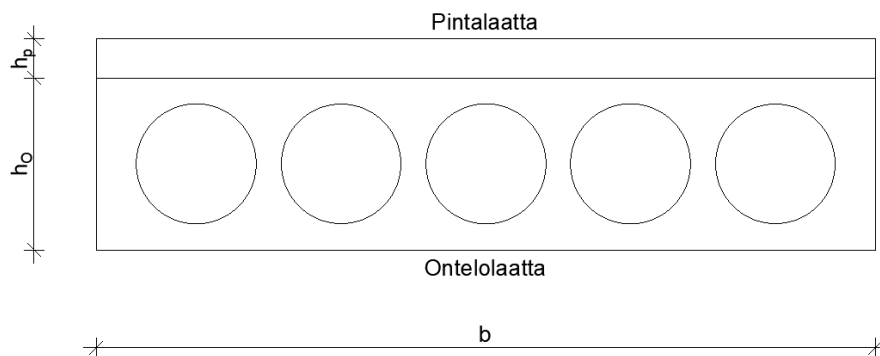
$$E_{cm} = 22000 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} \quad (4.1)$$

Jossa  $f_{cm}$  on betonin keskimääräinen lieriölujuus (SFS-EN 1992-1-1, Taulukko 3.1)

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (4.2)$$

### 4.2 Poikkileikkaus

Kuvassa 6 ja 7 on esitetty poikkileikkaus laskentaa varten. Laattaa on yksinkertaistettu kuvassa 6 vastaamaan suorakulmion muotoista ja kuvassa 7 pintalaatan leveyttä on pienennetty kimmokerroinsuhteella vastaamaan samaa lujuusluokkaa olevaa betonia.



Kuva 6. Yksinkertaistettu poikkileikkaus.

#### 4.2.1 Pintalaatta

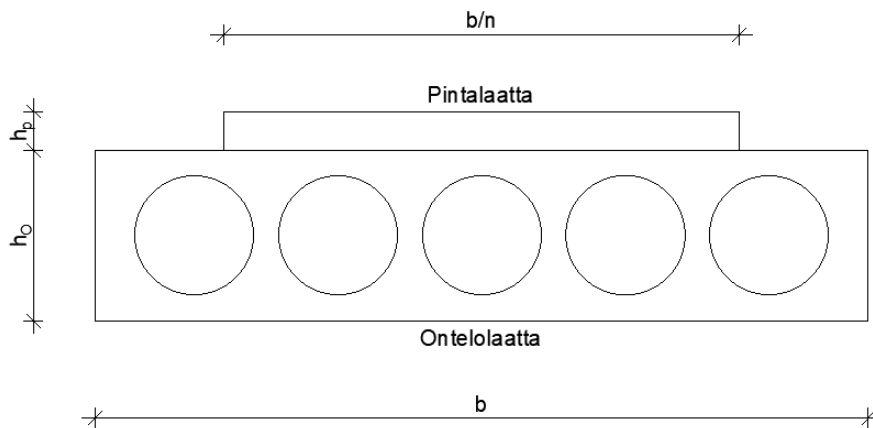
Pintalaatta voidaan ottaa huomioon pelkkänä lisäkuormana tai pintalaatan voidaan olettaa toimivan liittorakenteena ontelolaatan kanssa. Pintalaatta on yleensä eri lujuusluokan



betonia kuin ontelolaatta. Tämä huomioidaan pienentämällä pintalaatan leveyttä, mikäli rakennetta käsitellään liittorakenteena. Pintalaatan poikkileikkausalaa ja jäyhyysmomenttia muunnetaan kimmokerroinsuhteella, jolloin liittorakennetta voidaan tästä edespäin tarkastella yhtä materiaalia olevana. (Leskelä, 2012, s. 20)

Kimmokerroinsuhde (Leskelä, 2012, s. 20)

$$n = \frac{E_{\text{Ontelolaatta}}}{E_{\text{Pintalaatta}}} \quad (4.3)$$



**Kuva 7. Muunnettu poikkileikkaus.**

Taulukossa 4 on esitetty ontelolaattojen suunnitteluparametrejä eri ontelolaatoille. Näistä voidaan laskea mm. ontelolaatan painopiste ja jäyhyysmomentti, joita tarvitaan myöhemmin värähtely laskennan aikana.

**Taulukko 4. Ontelolaattojen suunnitteluparametrejä. (Betoniteollisuus Ry, 2010; Suomen Betoniyhdistys Ry, 2012)**

Laattatyyppi	Laatan korkeus (mm)	Onteloiden määrä	Onteloiden leveys (mm)	Onteloiden korkeus (mm)	Massa saumattuna (kg/m <sup>2</sup> )
O15	150	8	110	110	215
O20	200	6	155	155	260
O27	265	5	185	185	380
O32	320	4	216	250	400
O37	370	5	184	245	510
O40	400	4	221	320	465
O50	500	4	205	400	600

#### 4.2.2 Jäyhyysmomentti

Ontelolaatan jäyhyysmomentti  $I$  voidaan laskea Steinerin lauseen mukaan ottamalla huomioon ontelolaatoissa olevat reiät. Poikkileikkausta yksinkertaistetaan sen verran että ontelolaattaa tarkastellaan suorakulmion muotoisena sekä ontelolaatan punoksia ei oteta lainkaan huomioon tässä laskennassa. Punosten vaikutus poikkileikkauksen painopisteeseen ja taivutusjäykkyyteen on hyvin pieni. Alla olevat kaavat (4.4...4.12) ovat otettu ja yksinkertaistettu kirjasta Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, BY 58 (Leskelä, 2012, s. 20–21).

Suorakulmion jäyhyysmomentti

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (4.4)$$

Jossa  $b$  on poikkileikkauksen leveys ja  $h$  poikkileikkauksen korkeus.

Ympyrän jäyhyysmomentti

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \quad (4.5)$$

Jossa  $r$  on ympyrän säde.

Onteloiden muodot isoimmilla ontelolaatoilla (O32 ylöspäin) muuttuvat yksinkertaisen ympyrän muotoisesta ontelosta, korkeammiksi venytetyiksi onteloiksi. Tämän takia onteloiden säteenä voidaan halutessa käyttää suuremmilla ontelolaatoilla keskimääräistä arvoa ontelon leveydestä ja korkeudesta, jolloin jäyhyysmomentille saadaan tarkempi arvo. Vaihtoehtoisesti laatan jäyhyysmomentti voidaan hakea esimerkiksi ontelolaattojen suunnitteluohjeista tai pyytää valmistajalta.

Kun laataston värähtelyä tarkastellaan liittorakenteena, täytyy rakenteen painopiste sekä eri lujuusluokka ottaa huomioon jäyhyysmomenttia laskettaessa. Ensiksi lasketaan ontelolaatan pinta-ala sekä pintalaatan muunnettu pinta-ala ottaen huomioon kimmokertoimien suhde  $n$  johtuen eri lujuusluokista.

$$A_o = (b_o * h_o) - (A_r) \quad (4.6)$$

$$A_{pm} = \frac{b_p}{n} * h_p \quad (4.7)$$

Missä

$A_O$	Ontelolaatan pinta-ala
$A_{pm}$	Pintalaatan muunnettu poikkileikkausala
$b_O$	Ontelolaatan leveys
$h_O$	Ontelolaatan korkeus
$A_r$	Onteloiden reikien pinta-ala
$b_p$	Pintalaatan leveys
$h_p$	Pintalaatan korkeus (paksuus)
$n$	Kimmokertoimien suhde

Tämän jälkeen summataan liittorakenteen poikkileikkausala painopisteen laskentaa varten

$$A_i = A_O + A_{pm} \quad (4.8)$$

Liittorakenteen painopiste pintalaatan yläpinnasta saadaan kaavasta

$$y_0 = \frac{\frac{h_p}{2} * A_{pm} + (h_p + \frac{h_O}{2}) * A_O}{A_i} \quad (4.9)$$

Ontelolaatan jäyhyysmomentti saadaan kaavasta

$$I_O = \frac{b_O * h_O^3}{12} - n_r * \frac{\pi}{4} * r_r^4 \quad (4.10)$$

Jossa

$n_r$	Onteloiden määrä
$r_r$	Onteloiden säde

Pintalaatan jäyhyysmomentti saadaan kaavasta

$$I_p = \frac{\frac{b_p * h_p^3}{12}}{n} \quad (4.11)$$

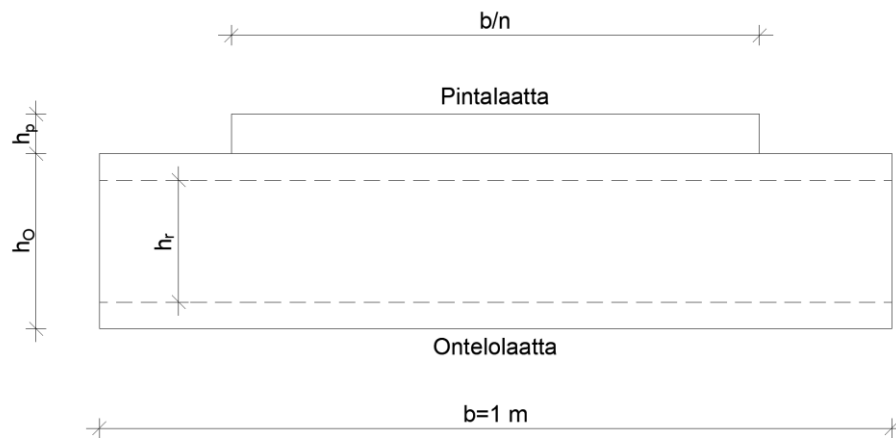
Ja lopuksi liittorakenteen jäyhyysmomentti

$$I_i = I_O + I_p + A_O * \left(y_0 - h_p - \frac{h_O}{2}\right)^2 + A_{pm} * \left(y_0 - \frac{h_p}{2}\right)^2 \quad (4.12)$$

Kun liittorakenteen jäyhyysmomentti sekä ontelolaatan kimmokerroin on laskettu, voidaan laskea poikkileikkauksen taivutusjäykkyys  $EI$ , jonka avulla voidaan selvittää laataston alin ominaistaajuus ja siirtyä värähtelyominaisuuksien laskentaan.

### 4.3 Poikkileikkaus poikittaissuuntaan

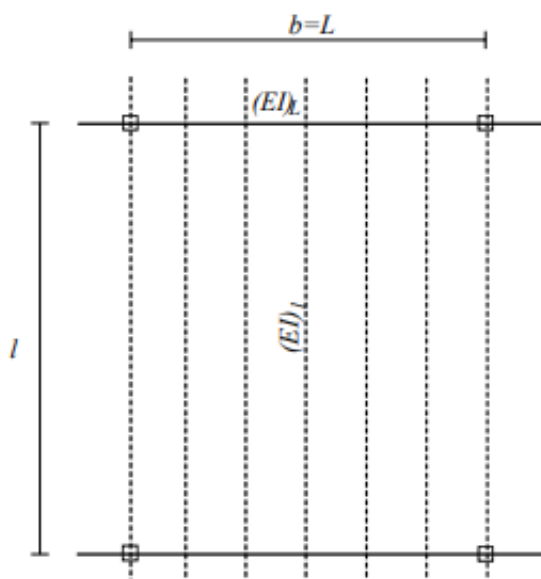
Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti lasketaan samalla tavalla poikittaissuuntaan kuin normaalisti. Poikkileikkausta käsitellään  $1\text{ m}$  leveänä laattana, jossa leikkaus on otettu laatan heikoimmassa kohdassa eli missä ontelolaatan reiät ovat korkeimmillaan. Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva laskennassa käytettävästä muunnetusta poikkileikkauksesta poikittaissuuntaan.



Kuva 8. Muunnettu poikkileikkaus poikittaissuuntaan.

### 4.4 Ominaistaajuus

Alimman ominaistaajuuden avulla voidaan jakaa lattiat matala- ja korkeataajuuksiin lattioihin. Kuvassa 9 on esitetty tavallinen lattian osa-alue, johon on merkitty lattiapalkit ja pääkannattimet.



Kuva 9. Tyypillinen lattian osa-alue, joka käsittää pintalaatan, lattiapalkit  $(EI)_l$  ja pääkannattimet  $(EI)_L$ . (Talja ym., 2002, s. 21)

Seuraavissa kohdissa tullaan käyttämään teoksen Lattioiden värähtelyt, suunnittelu ja kokeellinen arviointi kaavoja ja merkintöjä. (Talja ym., 2002)

#### 4.4.1 Alin ominaistajuus jäykällä tuella

Neljältä sivulta tuetun lattian alin ominaistajuus saadaan kaavasta. (Talja ym., 2002, s. 21)

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[ 2\left(\frac{l}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \right] \frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (4.13)$$

Jossa

$l$	Lattian pituus (mitta laattojen suunnassa)
$b$	Lattian leveys
$(EI)_l$	Lattian pituussuuntaa $l$ vastaava jäykkyys
$(EI)_b$	Lattian leveyssuuntaa $b$ vastaava jäykkyys
$m$	Väliohjan massa lattian pinta-alayksikköä kohden (lattian massaan lisätään hyötykuormaa $30 \text{ kg/m}^2$ )

Usein lattiapalkkien tai ontelolaataston pituussuuntaisten reunojen tuennalla ei ole merkitystä ominaistajuuteen. (Talja ym., 2002, s. 21)

Tällöin kaava pienentyy muotoon

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (4.14)$$

”Lauseke (4.14) aliarvioi ominaistajuutta enintään 5 %, kun  $b/l > 1,0$  ja  $(EI)_l/(EI)_b > 30$ , mutta jos  $b/l = 0,5$ , samaan laskentatarkkuuteen päästään vasta, kun  $(EI)_l/(EI)_b > 200$ ”. (Talja ym., 2002, s. 21)

#### 4.4.2 Alin ominaistajuus joustavalla tuella

Jos ontelolaatat (pituus  $l$ ) tukeutuvat pääkannattamiin eli palkkeihin (pituus  $L = b$ ), voidaan systeemin yhteinen alin ominaistajuus arvioida lausekkeesta (Talja ym., 2002, s. 21–22)

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{0,l}^2} + \frac{1}{f_{0,L}^2}}} \quad (4.15)$$

Jossa  $f_{0,l}$  on ontelolaatan alin ominaistajuus, joka saadaan kaavasta (4.13) tai (4.14) riippuen onko laataston laskettu tukeutuvan myös pituussuuntaisilta reunoiltaan. Pääkannattimen eli palkin ominaistajuus lasketaan lausekkeesta. (Talja ym., 2002, s. 22)

$$f_{0,l} = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \quad (4.16)$$

Jossa  $(EI)_L$  on palkin ja pintalaatan yhteinen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden. (Talja ym., 2002, s. 22)

Jos palkin ominaistajuus on tiedossa esimerkiksi palkiston valmistajan laskelmien mukaan, voi sitä käyttää systeemin alimman ominaistajuuden laskemiseen.

#### 4.5 Kiihtyvyyssuhteiden matalataajuuksisilla lattioilla

Jos lattia on matalataajuuksinen eli lattian alin ominaistajuus  $f_0 < 10 \text{ Hz}$ , tulee lattian kiihtyvyyssuhteiden  $a$  suuruus tarkistaa kaavasta (Talja ym., 2002, s. 23)

$$a_{\max} = \frac{R \cdot P}{W \cdot \zeta} \cdot 0,83 \cdot e^{-0,35f_0} \quad (4.17)$$

Jossa

$R = 0,7$	Pienennyskerroin
$P = 800 \text{ N}$	Kävelijän paino
$W$	Tehollisen lattian osan paino
$\zeta = 0,03$	Vaimennussuhteen arvo (mikäli välipohja sisältää vähän ei kantavia rakenteita, väliseinät, alas lasketut katot jne. suositellaan pienempää arvoa 0,02)
$e = 2,718$	Neperin luku
$f_0$	Lattian alin ominaistajuus

#### 4.5.1 Lattian tehollinen massa jäykällä tuella

Neljältä reunalta tuetun lattian värähtelyyn osallistuvan tehollisen lattian osan paino  $W$  saadaan kaavasta (Talja ym., 2002, s. 23)

$$W = m \cdot b_{eff} \cdot l, \text{ jossa} \quad (4.18)$$

$$b_{eff} = 2,0 \cdot \left[ \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4} \cdot l, \quad (4.19)$$

$b_{eff}$  saa kuitenkin enintään arvon 2/3 laatastoon nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaisveydestä. (Talja ym., 2002, s. 23)

Jos lattia on ontelolaatan suuntaiselta reunaltaan tukematon, lausekkeessa (4.19) käytetään kertoimen 2,0 sijasta kerrointa 1,0. (Talja ym., 2002, s. 23)

#### 4.5.2 Lattian tehollinen massa joustavalla tuella

Jos lattiapalkit (tässä tapauksessa ontelolaatat) (pituus  $l$ ) tukeutuvat pääkannattimiin eli palkkeihin (pituus  $L$ ), värähtelyyn osallistuvan tehollisen lattian osan paino  $W$  lasketaan lausekkeesta. (Talja ym., 2002, s. 24)

$$W = \frac{W_l}{1 + f_{0,l}^2 / f_{0,L}^2} + \frac{W_L}{1 + f_{0,L}^2 / f_{0,l}^2} \quad (4.20)$$

jossa  $W_l$  saadaan suoraan lausekkeista (4.18) ja (4.19).  $W_L$  saadaan kaavasta

$$W_L = m \cdot l_{eff} \cdot L, \text{ jossa} \quad (4.21)$$

$$l_{eff} = 1,6 \cdot \left[ \frac{(EI)_l}{(EI)_L} \right]^{1/4} \cdot L, \quad (4.22)$$

$l_{eff}$  saa kuitenkin enintään arvon 2/3 pääkannattamiin eli palkkeihin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaisveydestä. ”Jos pääkannatin sijaitsee lattian vapaassa reunassa, lattian jäykkyyttä  $(EI)_L$  pienennetään 50 prosentilla”. (Talja ym., 2002, s. 24)

## 4.6 Taipumaehto korkeataajuuksisilla lattioilla

Jos lattia on korkeataajuuksinen eli lattian alin ominaistajuus  $f_0 > 10 \text{ Hz}$ , tulee  $1 \text{ kN}$  pistekuormasta johtuva lattian staattinen taipuma  $\delta_{max}$  tarkistaa kaavasta (Talja ym., 2002, s. 22)

$$\delta_{max} = \gamma \cdot \frac{Fl^2}{(EI)_l}, \text{ jossa} \quad (4.23)$$

$$\gamma = \frac{4}{\alpha\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{1}{(2m-1)^4 + \beta \left(\frac{2n-1}{\alpha}\right)^4}; \quad \alpha = \frac{b}{l} \text{ ja } \beta = \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \quad (4.24)$$

Usein ontelolaattojen suuntaisella reunan tuennalla ei ole merkitystä taipumaan. Tällöin lausekkeen (4.24) sijaan voidaan käyttää lauseketta (Talja ym., 2002, s. 22)

$$\gamma = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l}\right]^{1/4}} \quad (4.25)$$

”Lausekkeiden (4.24) ja (4.25) tuloksien ero on enintään 2,5%, kun  $b/l > 1,0$  ja  $(EI)_l/(EI)_b > 20$ , mutta jos  $b/l = 0,5$ , samaan laskentatarkkuuteen päästään vasta kun ja  $(EI)_l/(EI)_b > 300$ ”. (Talja ym., 2002, s. 22)

”Jos lausekkeen (4.23) avulla laskettu taipuma on suurempi kuin lattiasta erotetun korvauspalkin taipuma pistekuormalla  $1 \text{ kN}$ , vertailutaipumana käytetään korvauspalkin avulla laskettua taipumaa”. (Talja ym., 2002, s. 22–23)

$$\delta = \frac{Fl^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_l}, \quad (4.26)$$

Jossa  $s$  on lattiapalkkien etäisyys, kun kyseessä on välipohjapalkit.

Jos laatasto tukeutuu pääkannattamiin eli palkkeihin, täytyy kokonaistaipumaan lisätä palkkien taipuma. (Talja ym., 2002, s. 23)



#### **4.7 Kallistumaehto kaikilla lattioilla**

”Kallistumaehto pistekuormasta 1  $kN$  tulee tarkastaa lattiapalkin päässä, lattian reunoilla, palkin ja mahdollisesti tuetun reunan välissä sekä lattian keskellä lattiapalkkien välissä”. Korotuslattioilla on parasta tehdä kallistumatarkastelu käyttäen FEM-laskentaa tai kokeellisia tutkimuksia ja kelluvilla lattioilla kannattaa apua hakea mittauksista. (Talja ym., 2002, s. 24)

Palkin pään kulmanmuutosta voidaan arvioida tarkastelemalla lattiasta erotettua korvauspalkkia. Tässä tapauksessa lattian poikittaisjäykkyyden oletetaan olevan hyvin pieni. (Talja ym., 2002, s. 24)

#### **4.8 Korotuslattian ja kelluvan lattian vaikutus värähtelyyn**

Matalataajuuksisilla lattioilla korotus- tai kelluvien lattioiden yhteisvaikutusta ei huomioida, vaan niiden mitoituskriteerit tarkistetaan erikseen. Korkeataajuuksisilla lattioilla taipuma- ja kallistumaehdossa täytyy eri materiaalikerrosten yhteisvaikutus arvioida. (Talja ym., 2002, s. 24–25)

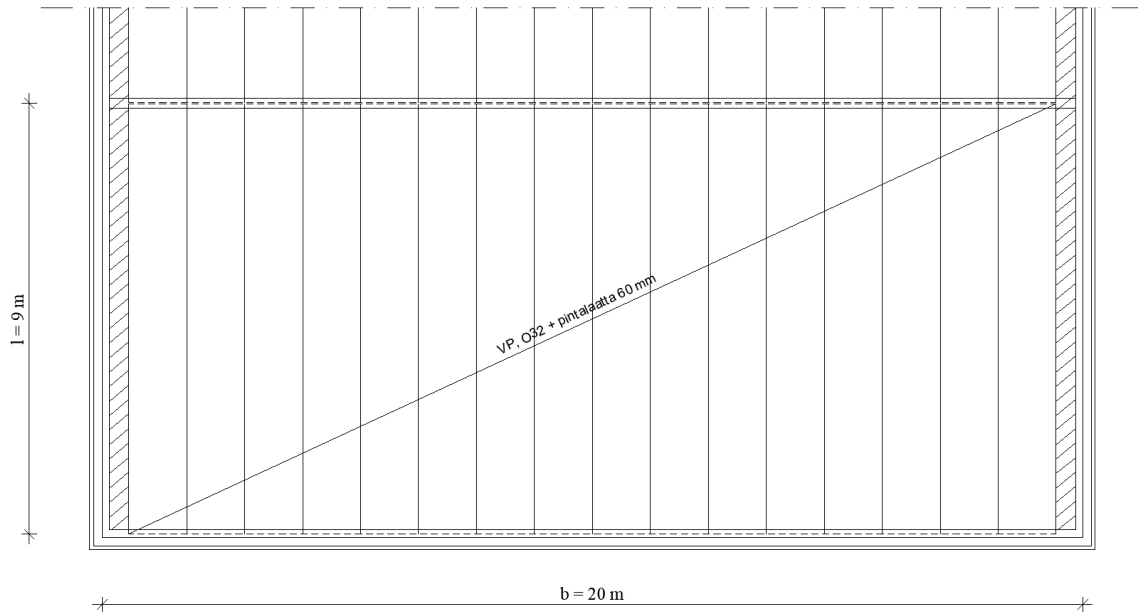
#### **4.9 Väliseinien vaikutus värähtelyyn**

Kevyillä väliseinillä on joissakin tapauksissa ollut positiivinen vaikutus korkeataajuuksisten lattioiden värähtelyyn. Vaikutus on ollut suurin, kun väliseinä on ollut palkistoon nähden poikittain. Merkityksen laskennallinen arviointi on kuitenkin epävarmaa, joten toistaiseksi väliseinien vaikutus voidaan huomioida suunnittelussa vain kokemusperäisen tiedon kautta. (Talja ym., 2002, s. 25)

Yllä mainitut asiat koskevat lähinnä puusta tehtyjä välipohjia, joissa kevyet väliseinät jäykistävät lattiaa värähtelyä vastaan. Pidemmällä jänneväleilla myös ontelolaatastossa kevyistä väliseinistä voi kuitenkin olla hyötyä. Huomioitavan arvoista on myös että kiihtyvyydsamplitudin laskennassa (kaava 4.17) matalataajuuksisilla lattioilla vaimennussuhteen arvo  $\zeta$ , on riippuvainen kerroksen ei kantavista rakenteista. Esimerkiksi kevyistä väliseinistä ja ym. välipohjan jäykkyyttä ja massaa lisäävistä rakenteista.

## 5 Laskentaesimerkki

Tässä kappaleessa esitetään kuvitteellinen laskentaesimerkki ontelolaataston värähtelyn mitoituksesta. Laatasto on tuettu kahdelta sivulta kantaviin seiniin, mutta esimerkissä näytetään myös laskenta, mikäli laatasto olisi tuettu palkeille.



**Kuva 10. Lähtötiedot laskentaesimerkkiin.**

### Laskennan lähtötiedot:

Ontelolaatan tyyppi	O32
Pintalaatan korkeus (paksuus)	60 mm
Ontelolaatan jänneväli	9 m
Laataston leveys	20 m
Betonin lujuusluokka, Ontelolaatat	C50/60
Betonin lujuusluokka, Pintalaatta	C25/30

## 5.1 Materiaaliominaisuuksien laskenta

Ensiksi lasketaan laataston materiaaliominaisuudet

Ontelolaatan betonin kimmokerroin, kun betonin lujuusluokka on C50/60

$$E_{cm,C50} = 22000 * \left( \frac{50 \text{ MPa} + 8}{10} \right)^{0,3} = 37277,9 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Pintalaatan betonin kimmokerroin, kun betonin lujuusluokka C25/30

$$E_{cm,C25} = 22000 * \left( \frac{25 \text{ MPa} + 8}{10} \right)^{0,3} = 31475,8 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Tällöin saadaan kimmokerroinsuhde

$$n = \frac{37277,9 \text{ MPa}}{31475,8 \text{ MPa}} = 1,18 \quad (4.3)$$

## 5.2 Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta

Seuraavaksi lasketaan poikkileikkauksen pinta-ala tiedot jäyhyysmomentin laskentaa varten.

$h_o = 320 \text{ mm}$	Ontelolaatan korkeus
$b_o = 1200 \text{ mm}$	Ontelolaatan leveys
$A_r = 187442 \text{ mm}^2$	Ontelolaatan reikien pinta-ala
$h_p = 60 \text{ mm}$	Pintalaatan korkeus (=paksuus)

Ontelolaatan pinta-ala

$$A_o = (1200 \text{ mm} * 320 \text{ mm}) - (187442 \text{ mm}^2) = 196558,0 \text{ mm}^2 \quad (4.6)$$

Pintalaatan muunnettu pinta-ala

$$A_{pm} = \frac{1200 \text{ mm}}{1,18} * 60 \text{ mm} = 60793,7 \text{ mm}^2 \quad (4.7)$$

Jolloin saadaan liittorakenteen muunnettu pinta-ala

$$A_i = 196558,0 \text{ mm}^2 + 60793,7 \text{ mm}^2 = 257351,7 \text{ mm}^2 \quad (4.8)$$

Tämän jälkeen lasketaan muunnetun poikkileikkauksen painopiste, pintalaatan yläpinnasta

$$y_0 = \frac{\frac{60 \text{ mm}}{2} * 60793,7 \text{ mm}^2 + (60 \text{ mm} + \frac{320 \text{ mm}}{2}) * 196558,0 \text{ mm}^2}{257351,7 \text{ mm}^2} = 175,1 \text{ mm} \quad (4.9)$$

### 5.2.1 Jäyhyysmomentin laskenta

Ontelolaatan jäyhyysmomentti

$$I_0 = \frac{1200 \text{ mm} * (320 \text{ mm})^3}{12} - 4 * \frac{\pi}{4} * (125 \text{ mm})^4 = 2,510 * 10^9 \text{ mm}^4 \quad (4.10)$$

Pintalaatan jäyhyysmomentti

$$I_p = \frac{\frac{1200 \text{ mm}}{1,18} * (60 \text{ mm})^3}{12} = 0,018 * 10^9 \text{ mm}^4 \quad (4.11)$$

Lopuksi muunnetun poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$$I_i = 2,510 * 10^9 \text{ mm}^4 + 0,018 * 10^9 \text{ mm}^4 + 196558,0 \text{ mm}^2 * \left(175,1 \text{ mm} - 60 \text{ mm} - \frac{320 \text{ mm}}{2}\right)^2 + 60793,7 \text{ mm}^2 * \left(175,1 \text{ mm} - \frac{60 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 4,204 * 10^9 \text{ mm}^4 \quad (4.12)$$

### 5.3 Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta poikittaissuuntaan

Ontelolaatan pinta-ala poikittaissuuntaan per metri

$$A_{Ob} = 1000 \text{ mm} * 320 \text{ mm} - 1000 \text{ mm} * (320 \text{ mm} - 2 * 35 \text{ mm}) = 70000 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad (4.6)$$

Pintalaatan muunnettu pinta-ala poikittaissuuntaan per metri

$$A_{pmb} = \frac{1000 \text{ mm}}{1,18} * 60 \text{ mm} = 50661,4 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad (4.7)$$

Liittorakenteen muunnettu pinta-ala per metri

$$A_{ib} = 70000 \text{ mm}^2 + 50661,4 \text{ mm}^2 = 120661,4 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad (4.8)$$

Poikkileikkauksen painopiste laataston poikittaissuuntaan, pintalaatan yläpinnasta

$$y_{0b} = \frac{\frac{60 \text{ mm}}{2} * 50661,4 \text{ mm}^2 + (60 \text{ mm} + \frac{320 \text{ mm}}{2}) * 70000 \text{ mm}^2}{A_i} = 140,2 \text{ mm} \quad (4.9)$$

### 5.3.1 Jäyhyysmomentin laskenta poikittaissuuntaan

Ontelolaatan jäyhyysmomentti poikittaissuuntaan

$$I_{Ob} = \frac{1000 \text{ mm} \cdot (320 \text{ mm})^3}{12} - \frac{1000 \text{ mm} \cdot (320 \text{ mm} - 2 \cdot 35 \text{ mm})^3}{12} = 1,429 \cdot 10^9 \text{ mm}^4/\text{m} \quad (4.10)$$

Pintalaatan jäyhyysmomentti poikittaissuuntaan

$$I_{pb} = \frac{\frac{1000 \text{ mm}}{1,18} \cdot (60 \text{ mm})^3}{12} = 0,0152 \cdot 10^9 \text{ mm}^4/\text{m} \quad (4.11)$$

Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti poikittaissuuntaan

$$I_{ib} = 1,429 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 + 0,0152 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 + 70000 \text{ mm}^2 \cdot \left(140,2 \text{ mm} - 60 \text{ mm} - \frac{320 \text{ mm}}{2}\right)^2 + 50661,4 \text{ mm}^2 \cdot \left(140,2 \text{ mm} - \frac{60 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 2,505 \cdot 10^9 \text{ mm}^4/\text{m} \quad (4.12)$$

## 5.4 Ominaisaajuuden laskenta

Koska ontelolaataston pituussuuntaisen tuennan vaikutus lattian värähtelyyn on pieni, lasketaan ominaisaajuus kaavasta (4.14). Ontelolaatan massa  $m$  saumattuna saadaan taulukosta 4, johon lisätään pintalaatan massa sekä hyötykuormaa  $30 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

Laataston massa hyötykuormalla

$$m = 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,06 \text{ m} + 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 580 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Laataston taivutusjäykkyys per metri jäykempään suuntaan

$$EI_l = 37277,9 \text{ MPa} \cdot \frac{4,204 \cdot 10^9 \text{ mm}^4}{1200 \text{ mm}} = 0,131 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

### 5.4.1 Alin ominaisaajuus jäykällä tuella

Alin ominaisaajuus, kun ontelolaatasto on jäykällä tuella

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot (9 \text{ m})^2} \cdot \sqrt{\frac{0,131 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2}{580 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}} = 9,20 \text{ Hz} \quad (4.14)$$

Eli ontelolaatasto on matalataajuuksinen,  $f_0 \leq 10 \text{ Hz}$

### 5.4.2 Alin ominaistajuus joustavalla tuella

Jos ontelolaatasto on tuettu joustavalle tuelle kuten esimerkiksi palkille lasketaan koko systeemin alin ominaistajuus kaavasta (4.15). Pääkannattimen eli palkin ominaistajuus lasketaan kaavasta (4.16).

Palkin tiedot (haettu Flexibl 8.0 ohjelman avulla)

Palkki Anstar, A-Beam S (A320S-400)

$$m = 118 \text{ kg/m}$$

Palkin omapaino

$$EI_L = 91,7 * 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

Palkin ja pintalaatan taivutusjäykkyys

$$L = 5,6 \text{ m}$$

Palkin jänneväli

Liittorakenteen kokonaismassa

$$m_L = 580 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + \frac{118 \text{ kg/m}}{9 \text{ m}} = 593 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Kannattajapalkin ominaistajuus

$$f_{0,L} = \frac{\pi}{2 * (5,6 \text{ m})^2} * \sqrt{\frac{91,7 * 10^6 \text{ Nm}^2}{593,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}} = 19,69 \text{ Hz} \quad (4.16)$$

Systeemin yhdistetty ominaistajuus

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(9,20 \text{ Hz})^2} + \frac{1}{(19,69 \text{ Hz})^2}}} = 8,34 \text{ Hz} \quad (4.15)$$

Laatasto on matalataajuuksinen,  $f_0 \leq 10 \text{ Hz}$

## 5.5 Kiihtyvyyssamplitudin laskenta matalataajuuksisilla lattioilla

Kun alin ominaistajuus  $f_0 < 10 \text{ Hz}$ , tulee lattian kiihtyvyyssamplitudi  $a$  suuruus tarkistaa kaavasta (4.17).

Laataston taivutusjäykkyys per metri poikittaissuuntaan

$$EI_b = 37277,9 \text{ MPa} * 2,505 * 10^9 \text{ mm}^4 = 0,093 * 10^9 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

### 5.5.1 Kiihtyvyyssamplitudin laskenta jäykällä tuella

Ensiksi lasketaan lattian tehollinen leveys.

Kaavassa (4.19) käytetään kertoimen 2,0 sijasta kerrointa 1,0 kun laatasto on tuettu kahdelta reunalta.

$$b_{eff} = 1,0 * \left( \frac{0,093 * 10^9 \text{ Nm}^2}{0,131 * 10^9 \text{ Nm}^2} \right)^{\frac{1}{4}} * 9 \text{ m} = 8,28 \text{ m} \quad (4.19)$$

$b_{eff}$  saa kuitenkin arvon  $2/3$  lattiapalkkeihin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaisleveydestä

$$b_{eff} \leq \frac{2}{3} * 20 \text{ m} = 13,33 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 8,28 \text{ m}$$

Lattian tehollinen massa

$$W = 580 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 8,28 \text{ m} * 9 \text{ m} = 43199,5 \text{ kg} \quad (4.18)$$

Kiihtyvyyssamplitudin suuruus

$$a_{max} = \frac{0,7 * 800 \text{ N}}{43199,5 \text{ kg} * 0,02} * 0,83 * 2,718^{-0,35 * 9,20 \text{ Hz}} = 0,0215 \text{ m/s}^2 \quad (4.17)$$

Tällöin taulukon 3 kiihtyvyysehdon mukaan laatasto sijoittuu värähtelyluokkaan A ( $a \leq 0,03 \text{ m/s}^2$ ).

### 5.5.2 Kiihtyvyyssamplitudin laskenta joustavalla tuella

Systemin tehollinen leveys

$$l_{eff} = 1,6 * \left( \frac{0,131 * 10^9 \text{ Nm}^2}{91,7 * 10^6 \text{ Nm}^2} \right)^{\frac{1}{4}} * 5,6 \text{ m} = 9,79 \text{ m} \quad (4.22)$$

$l_{eff}$  saa kuitenkin arvon  $2/3$  lattiapalkkeihin nähden poikittaissuuntaisesta lattian kokonaisleveydestä

$$l_{eff} \leq \frac{2}{3} * 9 \text{ m} = 6,0 \text{ m}$$

$$l_{eff} = 6,0 \text{ m}$$

Lattian tehollinen massa

$$W_L = 593,1 \frac{kg}{m^2} * 6,0 m * 5,6 m = 19928,5 kg \quad (4.21)$$

$W_l$  saadaan suoraan aiemmin lasketusta lausekkeesta (4.18)

$$W = \frac{43199,5 kg}{1 + \frac{(9,20 Hz)^2}{(19,69 Hz)^2}} + \frac{19928,5 kg}{1 + \frac{(19,69 Hz)^2}{(9,20 Hz)^2}} = 39028,7 kg \quad (4.20)$$

Kiihtyvyyssamplitudin suuruus

$$a_{max} = \frac{0,7 * 800 N}{39028,7 kg * 0,02} * 0,83 * 2,718^{-0,35 * 8,34 Hz} = 0,0322 m/s^2 \quad (4.17)$$

Tällöin taulukon 3 kiihtyvyysehdon mukaan laatasto sijoittuu värähtelyluokkaan B ( $a \leq 0,05 m/s^2$ ).

## 5.6 Taipuman laskenta korkeataajuuksisilla lattioilla

Lasketaan myös esimerkki taipumaehdolle, vaikka laatasto on matalataajuuksinen sekä jäykällä että joustavalla tuella.

Taipumakerroin  $\gamma$

$$\gamma = \frac{1}{42 * \left( \frac{0,093 * 10^9 Nm^2}{0,131 * 10^9 Nm^2} \right)^{\frac{1}{4}}} = 0,026 \quad (4.25)$$

1 kN pistekuormasta aiheutuva staattinen taipuma

$$\delta_{max} = \frac{0,026 * 1000 N * (9 m)^2}{0,131 * 10^9 Nm^2} = 0,016 mm \quad (4.23)$$

Lattiasta irrotetun korvauspalkin, 1 kN pistekuormasta aiheutuva taipuma

$$\delta = \frac{1000 N * (9 m)^3}{48 * 1,2 m * 0,131 * 10^9 Nm^2} = 0,097 mm \quad (4.23)$$

Koska laatan taipuma on pienempi kuin korvauspalkin taipuma, vertailutaipumana käytetään laatan taipumaa.

Tällöin taulukon 3 taipumaehdon mukaan ontelolaatasto sijoittuisi värähtelyluokkaan A ( $\delta \leq 0,12 mm$ ), mikäli se olisi korkeataajuuksinen.



## 5.7 Kallistuman laskenta

Kallistuman tarkastelussa tulee tehdä tarkempi laskenta FEM-laskennan avulla. Yksinkertaistettu kallistumatarkastus voidaan tehdä tarkastelemalla kallistumaa ontelolaattojen taipumasta.

Laataston taipuma  $0,016 \text{ mm}$  ja korvauspalkin taipuma on  $0,097 \text{ mm}$

Kuvan 5 mukaan saadaan vaakasiirtymä korkeudella  $1,2 \text{ m}$  lattian kallistumasta

Ortotrooppisen laatan kallistuma

$$\varphi = \frac{0,016 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} * 1200 \text{ mm} = 0,032 \text{ mm}$$

Lattiasta irrotetun yksittäisen laatan kallistuma

$$\varphi = \frac{0,097 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} * 1200 \text{ mm} = 0,194 \text{ mm}$$

Varmemmalla puolella olevan arvion kannalta käytetään näistä suurempaa arvoa.

Tällöin taulukon 3 kallistumaehdon mukaan laatasto kuuluu värähtelyluokkaan 1 ( $\varphi \leq 0,2 \text{ mm}/1,2 \text{ m}$ ).

## 6 Laskennan kulku

Ontelolaataston värähtelyn tarkastelun laskennassa kannattaa toimia kyseisessä järjestyksessä.

- Kerätään tarvittavat lähtötiedot laskentaan
  - Jännevälit ja laataston mitat
  - Käytettävien betonien lujuusluokat
  - Mahdollisen pintalaatan paksuus
- Laataston materiaaliominaisuudet
  - Betonien kimmokertoimet, ja kimmokertoimien suhde
- Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta
  - Mikäli tarkastellaan pelkästään ominaistajuutta, riittää kun lasketaan ominaisuudet laataston pääsuuntaan
- Ominaistaajuuden laskenta
  - Selvitetään laataston alin ominaistaajuus, jotta lattia voidaan sijoittaa joko matala- tai korkeataajuuksisiin lattioihin
- Kiihtyvyyssamplitudin laskenta ( $f_0 \leq 10 \text{ Hz}$ )
  - Matalataajuuksisilla lattioilla
  - Määritetään värähtelyluokka kiihtyvyysehdon mukaan
- Taipuman laskenta ( $f_0 \geq 10 \text{ Hz}$ )
  - Korkeataajuuksisilla lattioilla
  - Määritetään värähtelyluokka taipumaehdon mukaan
- Kallistumaehdon tarkistus
  - Kaikilla lattioilla
  - Määritetään värähtelyluokka kallistumaehdon mukaan

Näin voidaan määrittää ontelolaataston värähtelyluokat ja vertailla niitä rakennuskohteen vaadittuihin värähtelyehtoihin.

## 7 Excel-laskentapohja

Tämän työn lopputulos oli Excel-laskentapohja ontelolaataston värähtelylle (Liite 1). Laskentapohja on tehty käyttäen kaavoja ja menetelmiä, joita on käytetty tässä työssä.

Laskentapohja on hyvin pitkälti automatisoitu. Se on ohjelmoitu Excelin lukuisilla eri funktiolla hakemaan ominaisuuksia ja arvoja taulukoista sekä huomioimaan useita muuttujia. Lähtötietoihin syötettävät tiedot ovat mm. käytettävä ontelolaatta, pintalaatan paksuus, jänneväli, leveys, lattian kokonaispituus ja leveys sekä ontelo- ja pintalaatan betonien lujuusluokat.

Näillä kyseisillä tiedoilla laskentapohja laskee poikkileikkauksen materiaalitiedot ja ominaisuudet, joiden avulla voidaan laskea laataston alin ominaistajuus. Mikäli laatasto on tuettu palkeille, voidaan valita ontelolaataston tuen tyypiksi joustava tuki. Tällöin pohja laskee palkille annettujen tietojen mukaan systeemin alimman ominaistajuuden.

Kun pohja on laskenut ominaistajuuden, tarkistaa se kyseisen laataston värähtelyehdot (kiihtyvyys, taipuma ja kallistuma) riippuen mihin taajuusluokkaan lattia kuuluu. Tuloksissa laskentapohja antaa kyseisen lattian tiedot (taajuusluokan, ominaistajuuden, kiihtyvyyssamplitudin, taipuman ja kallistuman) ja sijoittaa niiden perusteella laataston omaan värähtelyluokkaansa näiden eri ehtojen mukaan.

Jatkokehitysmahdollisuuksia laskentapohjalle olisi kallistumaehdon tarkempi tarkastelu sekä mahdollisesti värähtelyn laskenta ulkomaisten ohjeistuksien avulla. Tällöin laskentapohjaa voitaisiin käyttää myös mahdollisesti muiden rakennuskohteiden lattioiden värähtelytarkasteluun eikä pelkästään asuin- ja toimistorakennusten.

## 8 Pohdinta

Ontelolaataston värähtelytarkastelu on, kuten lattioiden värähtelytarkastelu yleensä, hyvin pitkälti suuntaa antavaa suunnittelua. Laskentamenetelmät eivät aina välttämättä anna kohteeseen tyydyttäviä lopputuloksia ja raja-arvojen tulkinta on epätarkkaa. Värähtelyn aistiminen pelkästään on jo hyvin henkilökohtaista, tietyt ihmiset voivat kokea pienetkin värähtelyt haitalliseksi, kun taas jotkut ihmiset eivät välttämättä tunne värähtelyä lainkaan.

Betonisten välipohjien värähtelyyn ei Suomessa ole erityisiä ohjeita, jolloin vaihtoehtoja värähtelyn tarkasteluun ovat joko VTT:n ohjeistuksen seuraaminen tai ulkomaisten ohjeiden

soveltaminen. VTT:n ohje koskee pelkästään asuin- ja toimistotiloja, jolloin tämä ohjeistus ei sovellu liike- ja liikuntatilojen lattioiden värähtelyn tarkasteluun.

Ontelolaataston värähtelyyn positiivisesti vaikuttavia asioita on mm. pintalaatta, jolla voidaan parantaa lattian värähtelyominaisuuksia huomattavasti. Sen sijaan värähtely kasvaa pidemmällä jänneväleillä sekä kun laatasto on tuettu joustavalle tuelle. Kun palkiston värähtely huomioidaan, kasvaa systeemin värähtelyominaisuudet huomattavasti. Yleensä, kun laatasto on tuettu kantaville seinille, täyttää ontelolaatat varsin hyvin niille vaaditut värähtelykriteerit.

Tämä opinnäytetyö on ollut erittäin opettava ja antanut syventävää tietoa ontelolaatoista, sekä niiden suunnitteluprosessista ja värähtelyominaisuuksista. Värähtely ei ole yleisin mitoitusperuste tavallisille rakenteille ja värähtelyä yleensä käsitellään hyvin vähän koulussa. Erityisesti ontelolaattojen värähtelyä ei ole Suomessa tutkittu kovin paljoa ja esimerkkejä värähtelyn mitoituksesta suomalaisen ohjeistuksen mukaan ei todellakaan ole liikaa. Näistä syistä tämä opinnäytetyö on ollut haastava ja vaatinut paljon aikaa sekä taustatutkimusta. Olen kuitenkin tyytyväinen tämän työn lopputulokseen, koska laskentapohjan avulla voidaan jatkossa tarkastella ontelolaattojen värähtelyä myös omatoimisesti projektin alkuvaiheessa.

## Lähteet

Betoniteollisuus Ry, 2010. *Elementtisuunnittelu, Runkorakenteet 10-3-2010*. Viitattu 20.1.2020.

Osoitteessa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet>

Betoniteollisuus Ry, 2012. *Elementtisuunnittelu, Ontelolaataston suunnitteluohje*. Viitattu 20.1.2020.

Osoitteessa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Bredbacka, S. 2.4.2020. *Ontelolaataston suunnitteluvaiheet rakennesuunnittelijan perspektiivistä*. (K. Söderström, Haastattelija)

Eurokoodi 2: *Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. SFS-EN 1992-1-1*. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Leskelä, M. 2012. *Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, BY 58*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry; Teräsrakenneyhdistys ry.

Lindman, M. & Gustafsson, M. M. 2016. *Dynamiska egenskaper hos håldäcksbjälklag*. KTH.

Suomen Betoniyhdistys Ry. 2012. *Betoninormikortti EC18*.

Talja, A. 1996. *Teräsrunkoisten välipohjien värähtelyjen hallinta*. Espoo: VTT Tiedotteita 1790.

Talja, A., Toratti, T. & Järvinen, E. 2002. *Lattioiden värähtelyt. Suunnittelu ja kokeellinen arviointi*. Espoo: VTT tiedotteita 2124.

Tapio, L. 2002. *Kuljetusvälineiden vaimennusratkaisut*. Helsinki: Akukon Oy.

WasaGroup. 2020. WasaGroup. Viitattu 1.4.2020

Osoitteessa: <https://www.wasagroup.fi/wasagroup/>

## Liite 1: Excel-laskentapohja, Ontelolaataston värähtelymitoitus

<b>Ontelolaataston värähtelymitoitus</b>			
<p><i>Tätä ohjetta voidaan käyttää seuraavin edellytyksin:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-välipohja liittyy asuin- tai toimistotiloihin,</li> <li>-välipohjan alin ominaistaajuus on vähintään 3 Hz ja</li> <li>-suunnitteluperusteeksi on hyväksytty ihmisen kävelystä aiheutuvat värähtelyt.</li> </ul> <p><i>Siten menetelmää ei tule käyttää esim. liike- ja liikuntatiloihin tai tiloihin, joiden värähtely aiheutuu koneista. Ohjetta ei tule myöskään käyttää tiloihin, joissa värähtelyn suuruutta rajoittavat laitteistoille asetetut vaatimukset.</i></p>			
<p><b>1. Lähtötiedot (Materiaaliominaisuuksien laskenta)</b></p> <p>(Muokkaa ainoastaan keltaisella merkityjä soluja)</p>			
Ontelolaatta	O	O32	
Pintalaatan korkeus (=paksuus)	$h_p$	60	mm
Ontelolaatan jänneväli	l	9	m
Tuen pituus	b	20	m
Lattian kokonaispituus laattojen suunnassa	$l_2$	9	m
Lattian kokonaisleveys	$b_2$	20	m
Betonin lujuusluokka, Ontelolaatat	$C_O$	C50/60	
Betonin lujuusluokka, Pintalaatta	$C_p$	C25/30	
Ontelolaatan leveys	$b_O$	1200	mm
(Jos ontelolaatan leveys on jokin muu kuin oletus voi sen vaihtaa)			
Ontelolaatan korkeus	$h_O$	320	mm
Laatan kokonaiskorkeus	$h_L$	380	mm
Laatan omapaino+hyötykuorma	m	580	kg/m <sup>2</sup>
Ontelolaatan betonin lieriölujuus	$f_{ct,C50}$	50	MPa
Ontelolaatan betonin kimmokerroin	$E_{cm,C50}$	37 277,9	MPa (4.1)
Pintalaatan betonin lieriölujuus	$f_{ct,C25}$	25	MPa
Pintalaatan betonin kimmokerroin	$E_{cm,C25}$	31 475,8	MPa (4.1)
Kimmokertoimien suhde (Ontelo/Pintalaatta)	n	1,18	(4.3)

### 2. Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta

Ontelolaatan neliön pinta-ala	$A_1$	384 000,0	mm <sup>2</sup>	
Onteloiden pinta-ala	$A_2$	187 442,0	mm <sup>2</sup>	
Ontelolaatan pinta-ala	$A_O$	196 558,0	mm <sup>2</sup>	(4.6)
Pintalaatan muunnettu pinta-ala	$A_{pm}$	60 793,7	mm <sup>2</sup>	(4.7)
Liittorakenteen poikkileikkauspinta-ala	$A_i$	257 351,7	mm <sup>2</sup>	(4.8)
Poikkileikkauksen painopiste (YP:sta)	$y_0$	175,1	mm	(4.9)
Ontelolaatan jäyhyysmomentti	$I_c$	2 509 809 606,1	mm <sup>4</sup>	(4.10)
Pintalaatan jäyhyysmomentti	$I_p$	18 238 097,6	mm <sup>4</sup>	(4.11)
Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti	$I_i$	4 204 260 821,8	mm <sup>4</sup>	(4.12)
Laatan taivutusjäykkyys (jäykempään suuntaan)	$EI_1$	130 604 903,8	Nm <sup>2</sup> /m	

### 3. Poikkileikkauksen ominaisuuksien laskenta poikittaissuuntaan

Ontelolaatan neliön pinta-ala	$A_{1b}$	320 000,0	mm <sup>2</sup> /m	
Onteloiden pinta-ala	$A_{2b}$	250 000,0	mm <sup>2</sup> /m	
Ontelolaatan pinta-ala	$A_{ob}$	70 000,00	mm <sup>2</sup> /m	(4.6)
Pintalaatan muunnettu pinta-ala	$A_{pmb}$	50 661,4	mm <sup>2</sup> /m	(4.7)
Liittorakenteen poikkileikkauspinta-ala	$A_{ib}$	120 661,4	mm <sup>2</sup> /m	(4.8)
Poikkileikkauksen painopiste	$y_{0b}$	140,2	mm	(4.9)
Ontelolaatan jäyhyysmomentti	$I_{ob}$	1 428 583 333,3	mm <sup>4</sup> /m	(4.10)
Pintalaatan jäyhyysmomentti	$I_{pb}$	15 198 414,7	mm <sup>4</sup> /m	(4.11)
Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti	$I_{ib}$	2 504 778 319,08	mm <sup>4</sup> /m	(4.12)
Laatan taivutusjäykkyys (poikittaissuuntaan)	$EI_b$	93 372 798,3	Nm <sup>2</sup> /m	

<b>4. Ominaistaajuuden laskenta</b> (Muokkaa ainoastaan keltaisella merkittyjä soluja)			
Ontelolaataston tuen tyyppi	Joustava tuki (Palkki)		
<b>4.1 Alin ominaistaajuus jäykällä tuella</b>			
Laatan ominaistaajuus	$f_0$	9,20 Hz	(4.13)
<b>4.2 Alin ominaistaajuus joustavalla tuella</b>			
Kannattajapalkin jänneväli	L	5,6 m	(4.16)
Palkin omapaino	$m_2$	118 kg/m	
Kannattajapalkin ja pintalaatan taivutusjäykkyys	$EI_L$	9,17E+07 Nm <sup>2</sup> /m	
Liittorakenteen kokonaismassa	$m_L$	593,1 kg/m <sup>2</sup>	
Kannattajapalkin ominaistaajuus	$f_{0,L}$	19,69 Hz	
(Jos palkin alin ominaistaajuus on tiedossa sen voi syöttää suoraan soluun)			
Yhdistetty ominaistaajuus	$f_a$	8,34 Hz	(4.15)
<b>5. Kiihtyvyyssamplitudin laskenta</b> Matalataajuiset lattiat $f_0 \leq 10$ Hz			
Tehollinen lattian leveys (b)	$b_{eff}$	8,28 m	(4.19)
Tehollinen lattian leveys (l)	$l_{eff}$	6,00 m	(4.22)
Lattian tehollinen massa (l)	$W_l$	43199,5 kg	(4.18)
Lattian tehollinen massa (L)	$W_L$	19928,5 kg	(4.21)
Lattian tehollinen massa	W	39028,7 kg	(4.20)
Vaimennussuhteen arvo	$\zeta$	0,02	
(Vaimennussuhteen arvo = 0,03; jos välipohja sisältää vähän ei kantavia rakenteita, väliseinät, alaslasketut katot yms. = 0.02)			
Kiihtyvyyssamplitudin suuruus	$a_{max}$	0,0322 m/s <sup>2</sup>	(4.17)



### 6. Taipuman laskenta

Korkeataajuiset lattiat  $f_0 \geq 10$  Hz

	$\gamma$	0,026		(4.25)
--	----------	-------	--	--------

Korvauspalkin taipuma	$\delta$	0,097	mm	(4.26)
-----------------------	----------	-------	----	--------

Laatan taipuma	$\delta_{\max}$	0,016	mm	(4.23)
----------------	-----------------	-------	----	--------

### 7. Kallistuman laskenta

Kaikilla lattioilla

Kallistuma	$\varphi$	0,194	mm/1,2 m
------------	-----------	-------	----------

### Tulokset

Laataston ominaistaajuus	$f_0$	8,34	Hz
--------------------------	-------	------	----

Lattian taajuus	Matalataajuisinen, $f_0 < 10$ Hz		
-----------------	----------------------------------	--	--

Kiihtyvyysehto matalataajuisilla lattioilla	$a_{\max}$	0,0322	$m/s^2$
---	------------	--------	---------

Taipumahto korkeataajuisilla lattioilla	$\delta_{\max}$	-	mm
---	-----------------	---	----

Kallistumahto kaikilla lattioilla	$\varphi$	0,194	mm/1,2 m
-----------------------------------	-----------	-------	----------

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