

Mikko Pirkkanen

Eurokoodin sallima taipuma välipohjassa

Puuvälipohja

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka, rakennesuunnittelu

Tekijä: Mikko Pirkkanen

Työn nimi: Eurokoodin sallima taipuma välipohjassa

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä: 15

Eurokoodin Suomen kansallisen liitteen mukaan suunnitelluissa puisissa välipohjissa sallittu taipuma on yksi euromaiden tiukimmista. Ruotsin ja Iso-Britannian standardit sallivat välipohjissa yli kolminkertaisen taipuman Suomeen verrattuna.

Työn tavoitteena oli tutkia laskelmia hyväksi käyttäen, että onko taipuman raja-arvoa mahdollista korottaa. Laskelmissa otettiin huomioon välipohjan taipuma ja sallittu alin ominaistajuus.

Opinnäytetyössä tehtyjen laskelmien perusteella havaitaan, että pelkästään taipuman raja-arvon lieventämisellä ei ole haluttua vaikutusta puuvälipohjan rakenteeseen, koska välipohjarakenteen mitoituksessa on aina huomioitava myös välipohjan alin ominaistajuus.

Avainsanat: Rakennesuunnittelu, puurakentaminen, välipohja, taipuma, värähtely

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Mikko Pirkkanen

Title of thesis: Allowable deflection in intermediate floor according to Eurocode

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2014

Number of pages: 34

Number of appendices: 15

The thesis was done in the degree programme of Construction Engineering of Seinäjoki University of Applied Sciences by the assignment of Puu-Hubi project.

Wooden intermediate floors that have been designed according to the Finnish national attachment of Eurocode, allows one of the most stringent deflections in the intermediate floors. In the standards of Sweden and Great Britain, the allowable deflection is over three times higher.

The main objective for the thesis was to research if there is a possibility to raise the limiting value of the deflection. The research was done by calculations that consist of allowed deflection and vibration in the floor.

The changes in the allowed deflection caused variations to the structures which can be seen in the pictures shown at the end of the research.

Keywords: Structural design, wood construction, intermediate floor, deflection, vibration

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
2 PUUVÄLIPOHJA.....	9
2.1 Puu rakennusmateriaalina	9
2.2 Välipohjarakenne	11
3 NYKYISET STANDARDIT SUOMESSA	13
3.1 Rakennesuunnittelu eurokoodien mukaan	13
3.2 Standardeja vastaavat rakennemallit	14
3.2.1 Välipohjarakenne 1	14
3.2.2 Välipohjarakenne 2	15
3.2.3 Välipohjarakenne 3	16
3.3 Taipumalaskelmat.....	17
3.4 Vaadittu rakenne Eurokoodin mukaan	18
4 VAIHTOEHTOINEN SUUNNITTELMALLI	21
4.1 Mahdollisuus vaatimusten lieventämiseen	21
4.2 Standardeja vastaavat rakennemallit	21
4.3 Vaadittu rakenne lievennetyssä tapauksessa	22
5 VÄRÄHTELYTARKASTELU	24
5.1 Välipohjarakenteet 1	25
5.2 Välipohjarakenteet 2	26
5.3 Välipohjarakenteet 3	27
6 ERI VAATIMUSTASOLLA SUUNNITELTUIEN RAKENTEIDEN VERTAILU	28
7 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET	30

LIITTEET.....	31
---------------	----

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Kertoimen k_L riippuvuus lattian suurimmasta mitasta L.....	13
Kuvio 2. Välipohjarakenne 1	14
Kuvio 3. Välipohjarakenne 2	15
Kuvio 4. Välipohjarakenne 3	16
Kuvio 5. Välipohjapalkisto 1	19
Kuvio 6. Välipohjapalkisto 2	20
Kuvio 7. Välipohjapalkisto 3	21
Kuvio 8. Välipohjapalkisto 1	24
Kuvio 9. Välipohjapalkisto 2	25
Kuvio 10. Välipohjapalkisto 3	26
Kuvio 11. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 1	28
Kuvio 12. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 1	28
Kuvio 13. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 2	29
Kuvio 14. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 2	29
Kuvio 15. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 3	30
Kuvio 16. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 3	30
Taulukko 1. Välipohjarakenne 1	14
Taulukko 2. Välipohjarakenne 2.....	15
Taulukko 3. Välipohjarakenne 3.....	16
Taulukko 4. eurokoodin Suomen kansallisen liitteen mukaan suunnitellut rakenteet	17
Taulukko 5. Lievennettyjen vaatimusten mukaiset rakenteet.....	23

Käytetyt termit ja lyhenteet

b	Lattian leveys
s	Lattiapalkkien välinen etäisyys
f₁	Lattian alin ominaistajuus
l	Lattiapalkkien jänneväli
m	Koko välipohjan massa lattian pinta-alayksikköä kohden + hyötykuormasta osuus 30 kg/m ²
L	pääkannattimien jänneväli
(EI)_b	Lattian pienempi, leveyssuuntaa b vastaava jäykkyys
(EI)_l	Lattian suurempi, pituussuuntaa l vastaava jäykkyys
δ_{max}	Pistekuormasta 1 kN aiheutuva suurin staattinen taipuma

1 JOHDANTO

Kantavien rakenteiden eurokoodi otettiin käyttöön Suomessa vuoden 2007 lopulla, jolloin suunnittelussa käytettiin sekä eurokoodia että Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeita. Eurokoodin myötä tiukentuneet säädökset aiheuttivat suunnittelutyössä ongelmia, johtuen taustamateriaalin ja ohjelmiston puutteesta.

Työn aihe on saatu Puu-Hubi-projektilta. Projektissa on perehdytty puukerrostalorakentamiseen Etelä-Pohjanmaan alueella. Projektin tarkoitus on luoda alueellinen puukerrostalorakentamisen osaajaverkosto. Projektin avulla pyritään parantamaan puurakentamisen sekä korjausrakentamisen osaamista Etelä-Pohjanmaalla.

Asiaa lähdettiin tutkimaan muiden euromaiden ja Suomen välisien erojen vuoksi. Ruotsissa välipohjan taipuman raja-arvo on kolminkertainen Suomeen verrattuna ja Iso-Britanniassa vielä suurempi.

Tässä työssä käydään läpi esimerkkitapauksia puisista välipohjista, jotka suunniteltiin eurokoodin Suomen kansallisen liitteen mukaan. Tutkimuksessa vertaillaan eurokoodin Suomen kansallisen liitteen mukaan suunniteltuja välipohjaratkaisuja lievennetyillä suunnittelukriteereillä suunniteltuihin välipohjaratkaisuihin. Työssä käydään läpi, minkälaisia muutoksia rakenteisiin saadaan, jos raja-arvoja lievennetään. Rakenne selvitetään laskemalla raja-arvojen minimivaatimuksista saatava rakenteen taivutusjäykkyys, josta saadaan selville kantavan rakenteen koko. Näistä edellä mainituista rakenteista selviää, onko kannattavaa lähteä lieventämään taipuman arvoa ja miten se hyödyttäisi rakentamista. Näemme myös piirustuksista, kuinka välipohjarakenteen koko muuttuu ja onko se rakenteellisesti kannattavaa.

2 PUUVÄLIPOHJA

2.1 Puu rakennusmateriaalina

Puuta suositaan rakennusmateriaalina erityisesti pientalorakentamisessa, syynä tähän on sen pieni kuutiopaino, jonka avulla saavutetaan säästöä perusratkaisuissa. Puu on myös uusiutuva luonnonvara, joten puun saanti on vaivatonta ja edullista Suomessa.

Kotimaassamme puun ominaisuuksien hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa havaittiin viime vuosisadan lopulla. Tänä päivänä puukerrostalorakentamiseen on erikoistunut Puu-Hubi-projekti Pohjanmaalla, joka tutkii puukerrostalorakentamisen mahdollisuuksia.

Puukerrostalon suunnittelu ja rakentaminen on haastavaa johtuen puun palo-ominaisuuksista ja rungon jäykistämisestä. Jos puusta rakennetaan korkea kerrostalo, ylhäältä tulevat kuormat kasvavat niin suuriksi, että alimpien kerrosten kantavat rakenteet tulevat olemaan kookkaita. Muilla rakennusmateriaaleilla päästään pienikokoisempiin rakenneratkaisuihin. Kuten alussa jo mainittiin, puun kuutiopaino on suhteellisen pieni, joten tällä saadaan pienennettyä perustuksille tulevia lopullisia kuormia, jos verrataan muihin eri materiaaleista tehtyihin runkoratkaisuihin.

Puu toimii lämpöteknisesti nykyisellä runko-eriste-ratkaisulla erittäin hyvin ulkoseinä-rakenteena ja huoneistojen välipohjarakenteena. Tämä johtuu puun huonosta lämmönjohtavuudesta. Mineraalivillaan verrattuna puun lämmönjohtavuus on noin kolminkertainen. Betonilla ja kevytbetonilla lämmönjohtavuus on noin kaksitoista kertaa suurempi kuin puulla (Siikanen 2008, 44). Lämpölaajeneminen puulla on minimaalinen verrattuna esimerkiksi kosteuden aiheuttamaan muodonmuutokseen. Lämpötilan noustessa puu kuivaa ja kutistuu hieman, joka kompensoi lämpölaajenemisen. Kosteus turvottaa puuta, mikä nostaa puun ominaislämpöä ja puu kykenee varastoimaan enemmän lämpöä rakenteeseen.

Puun ääneneristysominaisuudet ovat huonot johtuen sen pienestä tilavuuspainosta. Jos puurakenteelta halutaan hyvää ääneneristyskykyä, on se toteutettava yhdistettyjä rakenteita käyttäen. Normaalisti tämä toteutetaan käyttämällä kelluvaa lattiarakennetta ja joustavasti riiputettua alakattoa. Kelluvan lattian toiminta perustuu siihen, että lattiarakenne ei ole kiinni kantavissa vaaka- tai pystyrakenteissa. Lattian rakenneosat erotetaan kantavasta rakenteesta joustavalla, tiiviillä väliaineella. Huopakaista ja elastinen kitti ovat usein käytetyt materiaalit tähän tarkoitukseen.

Palotekniset ominaisuudet puulla ovat muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna heikommat. Käytännössä puun palokestävyys perustuu puun hiiltymiseen. Palotilanteen sattuessa puun pinta hiiltyy ja tämä hidastaa palamisen etenemistä puurakenteessa. Tarvittaessa kantava puurakenne ylimitoitetaan, jotta palotilanteessa kantavaan rakenteeseen jää riittävästi hiiltymätöntä puuta. Yleensä ylimitoitusta ei tarvita, koska puukerrostalon kuormat ovat melko pieniä (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 94). Esimerkiksi betoniseen rakenteeseen verrattuna huoneistojen väliset palokatkot ovat sekä työläämpiä että kalliimpia toteuttaa.

Lisähaastetta puukerrostalorakentamiseen tuo rakenteiden jäykistäminen. Jäykistäminen toteutetaan yleensä mastopilareiden, vinositeiden sekä tarvittaessa levyjäykistyksen avulla (Tolppanen ym. 2013, 47). Jäykistäminen on suunniteltava siten, että palotilanteessa rakennuksen stabiliteetti säilyy. Jos jäykistys on esimerkiksi toteutettu levyjäykisteenä, saattavat jäykistävät levyt palaa pois (Tolppanen ym. 2013, 93).

2.2 Välipohjarakenne

Välipohjarakennetta suunniteltaessa vaihtoehtoja on paljon. Määrävinä tekijöinä ovat akustiset, palotekniset ja ulkonäköön liittyvät ominaisuudet. Kantavan rakenteen suunnittelussa huomioidaan yläpuolelta tuleva kuormitus, kantavien palkkien pituus ja niiden keskinäinen etäisyys ja käytettävä palkkityyppi. Puurakenteisen välipohjan mitoittamisessa ja suunnittelussa kiinnitetään erityishuomiota taipuman ja värähtelyn minimoimiseen.

Suomen rakentamismääräykset eivät vaadi huoneiston sisäisen välipohjan ilmaääneneristystä eivätkä askeläänenvaimennusta (Siikanen 2008, 242). Kyseiset rakenteet tuovat rakennukselle arkkitehtuurista ilmettä, koska välipohjan kantavat rakenteet jäävät esiin. Jos välipohjan ääneneristävyyttä kuitenkin halutaan parantaa, voidaan rakenteessa käyttää esimerkiksi puukuitu- tai mineraalivillaa sijoitettuna palkkien väliin. Myös huopakaistoilla voidaan parantaa askelääneneristävyyttä asentamalla huopakaista kantavan palkin päälle ja koolaamalla rakenne samansuuntaisesti. Tämä myös vähentää lattian narinaa tehokkaasti. Kantavan rakenteen päälle tulevat puiset rakennuslevyt kannattaa aina kiinnittää käyttäen liimaa ja tarpeeksi tiheää ruuvikiinnitystä. Tämä vähentää lattian narinaa, värähtelyä ja taipumaa huomattavasti luoden rakenteeseen lähes täydellisen liittovaikutuksen.

Huoneistoja erottavan välipohjan tulee täyttää ilmaääneneristysvaatimus ja askeläänieristysvaatimus. Myös palonkestovaatimuksen REI 30 (kaksikerroksinen) ja REI 60 (yli kaksikerroksinen) on täytyttävä. Tärkein suunnitteluperuste huoneistojen välisessä välipohjassa on ääneneristys. Hankaluuksia tähän tuo myös mahdollinen äänen sivutiesiirtymä. Sivutiesiirtymää pyritään estämään tai vähentämään katkaisemalla rungon lämmöneristys vaakasoivilla välipohjan kohdalta.

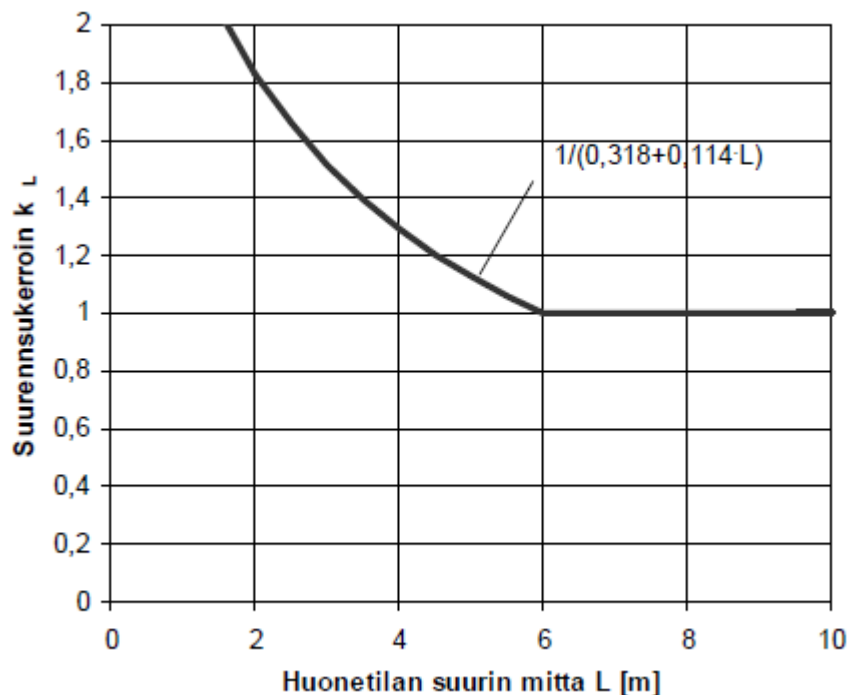
Puiset välipohjat toimivat rakennuksen levyjäykisteinä, joiden avulla vaakakuormat siirretään kantaville pystyrakenteille. Puuvälipohja eroaa betonisesta välipohjasta paljon, syynä tähän on ääni- ja värähtelytekniset syyt. Puuvälipohjat katkaistaan jokaisten huoneistojen välisten seinien kohdalta. Tämän vuoksi puusta välipohjaa ei voida pitää äärettömän jäykkänä rakenteena, kuten betoninen välipohja on. Betoninen välipohja siirtää vaakakuormat koko rakennuksen kokoisena laattana kantaviin rakenteisiin. Puuvälipohja muodostaa huoneistojen kohdalla oman jäykistysalueen, joka jakaa kuormia eri huoneistoille. Puuvälipohja voidaan myös tehdä jatkuvaksi tasoksi, jos kyseessä on esimerkiksi toimistorakennus, jossa välipohjan värähtely ei aiheuta haittaa muille huoneille. Tämä rakenne ei ole myöskään äärettömän jäykkä, kuten betoninen välipohja, vaan kyseessä on joustava rakenne (Tolppanen ym. 2013, 90). Välipohjan jäykistävänä rakenteena toimii tavallisesti välipohjan kansirakenne. Yleisesti tämä rakenne on puulevy tai betonirakenteinen puubetoniliittolaatta.

3 NYKYISET STANDARDIT SUOMESSA

3.1 Rakennesuunnittelu eurokoodien mukaan

Tarkastellaan seuraavassa kolmea esimerkkirakennetta puurakenteisesta välipohjasta. Näistä rakenteista selvitetään laskemalla kantavan rakenteen koko puurakenteiden eurokoodia SFS-EN 1995 käyttäen. Taipumaraja-arvo eurokoodin mukaan on 0,5 mm 1 kN:n pistekuormasta.

Taipuman raja-arvoissa on huomioitava suurennuskerroin k_L , joka riippuu lattian suurimmasta mitasta L (Kuvio 1).



Kuvio 1. Kertoimen k_L riippuvuus lattian suurimmasta mitasta L (Talja, Toratti & Järvinen 2002, 19).

Laskennan periaatteena on 0,5 mm maksimi taipuma. Välipohjaa kuormittaa 1 kN:n pistekuorma keskellä välipohjalaattaa. Laskennassa käytetään myös lattian pienempää leveyssuuntaa vastaavaa jäykkyyttä. Eli välipohjan pintalevy ja laattarakenne on ajateltu samanlaisiksi kaikissa tapauksissa. Levynä on käytetty 18 mm havuvaneria 18/6 ply, ja pintalaattana 50 mm kipsivalua.

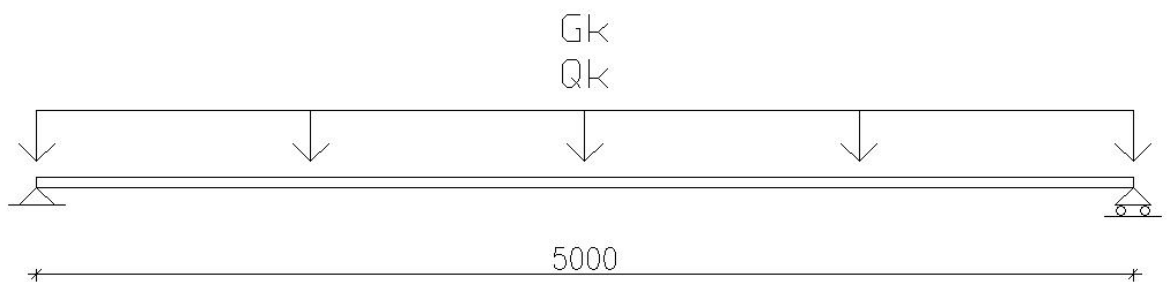
3.2 Standardeja vastaavat rakennemallit

3.2.1 Välipohjarakenne 1

Ensimmäinen esimerkkitapaus on yksiaukkoinen kahdelta reunalta tuettu laatta, jonka jänneväli on 5 m. Tässä tapauksessa taipuman raja-arvoa saa korottaa suunnuskertoimella k_L , koska välipohjan leveys on alle 6 m. Pintalaattana toimii 50 mm kipsivalu. Taulukossa 1 on ilmoitettu laskennan lähtöarvot esimerkkitapaukselle ja kuviossa 2 on esitetty laatan staattinen malli.

Taulukko 1. Välipohjarakenne 1

Välipohjan lähtöarvot ja kuormat rakenteessa 1	
Välipohjan tuentatapa	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi ($E =$ kimmomoduuli N/mm^2)	Kipsivalu 50 mm; $E = 17000$
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m^2
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m^2
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	5,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m^2



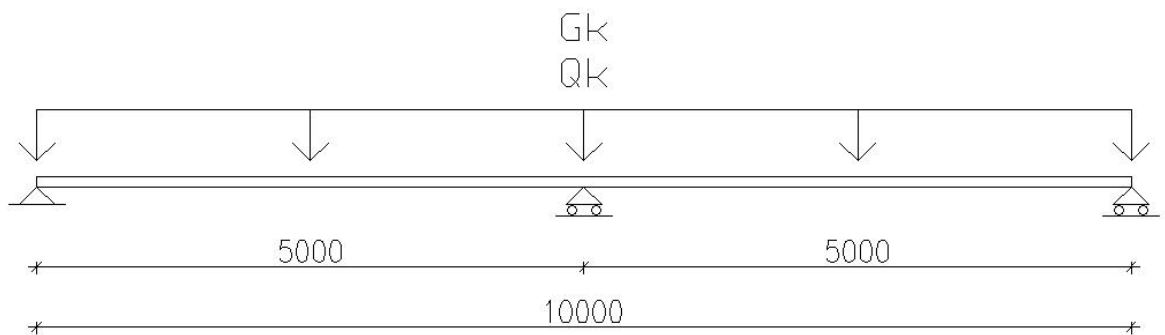
Kuvio 2. Välipohjarakenne 1

3.2.2 Välipohjarakenne 2

Toinen esimerkkitapaus on kahdelta reunalta tuettu jatkuva laatta, jonka jänneväli on 5 m ja kokonaisleveys 10 m. Pintalaattana toimii 50 mm kipsivalu. Tässä tapauksessa on 1 kN:n pistekuormaa kompensoitu jatkuvan laatan jäykkyyden vuoksi. Taulukossa 2 on ilmoitettu laskennan lähtöarvot esimerkkitapaukselle ja kuviossa 3 on esitetty laatan staattinen malli.

Taulukko 2. Välipohjarakenne 2

Välipohjan lähtöarvot ja kuormatrakenteessa 2	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50 mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	10,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²



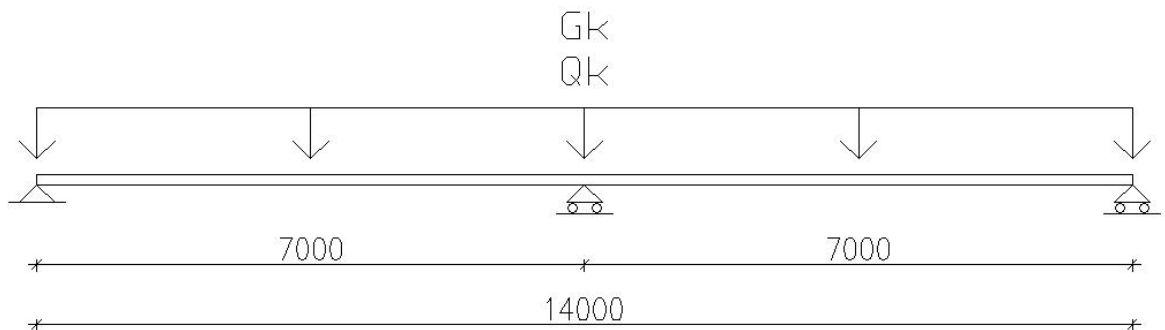
Kuvio 3. Välipohjarakenne 2

3.2.3 Välipohjarakenne 3

Kolmas esimerkkitapaus on kahdelta reunalta tuettu jatkuva laatta, jonka jänneväli on 7 m ja kokonaisleveys 14 m. Pintalaattana toimii 50 mm kipsivalu. Tässä tapauksessa on 1 kN:n pistekuormaa kompensoitu jatkuvan laatan jäykkyyden vuoksi. Taulukossa 3 on ilmoitettu laskennan lähtöarvot esimerkkitapaukselle ja kuviossa 4 on esitetty laatan staattinen malli.

Taulukko 3. Välipohjarakenne 3

Välipohjan lähtöarvot ja kuormat rakenteessa 3	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50 mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	7,0 m
Välipohjan leveys	14,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²



Kuvio 4. Välipohjarakenne 3

3.3 Taipumalaskelmat

Taipuman maksimin laskentakaava:

$$\delta_{\max} = \gamma \cdot \frac{Fl^2}{(EI)_l} \quad (1)$$

, missä

$$\gamma = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \quad (2)$$

F= 1 kN pistekuorma josta aiheutuu laatan staattinen taipuma

l= lattian pituus

(EI)_l= lattian suurempi pituussuuntaa l vastaava jäykkyys

(EI)_b= lattian pienempi leveysuuntaa b vastaava jäykkyys (vakio)

Laskelmassa selvitetään minimiä arvolle (EI)_l, josta saadaan palkin koko.

Kimmomoduuli-arvot on saatu puuinfoilta (www.puuinfo.fi).

Taulukko 4. Eurokoodin Suomen kansallisen liitteen mukaan suunnitellut rakenteet

Rakenne	Taivutusjäykkyys
Välipohjarakenne 1	1,903 · 10 ⁹ Nmm ² /mm
Välipohjarakenne 2	1,689 · 10 ⁹ Nmm ² /mm
Välipohjarakenne 3	4,139 · 10 ⁹ Nmm ² /mm

Tarkat laskelmat ovat EXCEL -taulukoina liitteissä (liite 1).

Laskelmista saadut arvot ovat minimiarvoja kyseisille rakenteille. Rakenteet siis voivat olla jäykempiä kuin mitä näissä esimerkeissä on esitetty (Taulukko 4).

3.4 Vaadittu rakenne Eurokoodin mukaan

Kohdasta 3.3 saadut arvot ovat taivutusjäykkyyden minimiarvot kullekin tapaukselle. Näitä arvoja hyödynnetään käyttäen Puuinfon Eurokoodiin perustuvaa puuväli-pohjan värähtelymitoitus Excel -laskuria (Puuinfo 2011).

Kaikissa tapauksissa on vakiona:

Palkisto

- palkkien k-jako: 600 mm.

Aluslattialevyn kiinnitys

- liitintyyppi: kampanaula 2,5x60
- liitinjako: 200 mm.

Liittorakennevaikutuksen huomioiminen

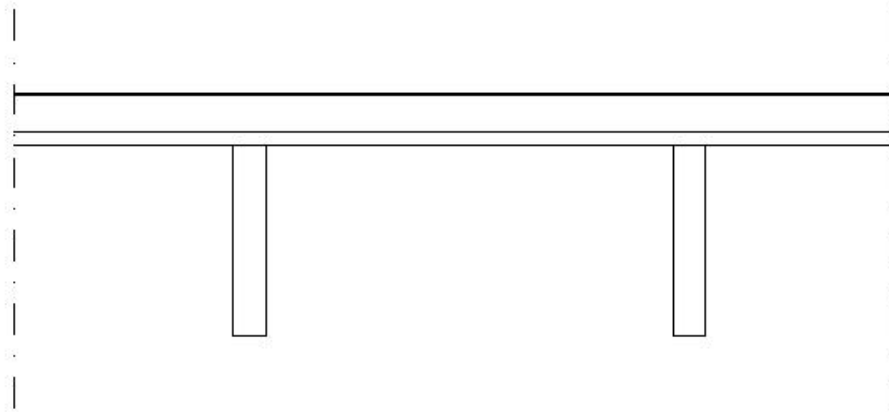
- liittorakenteen liitostapa: liimaliitos
- liimaustyön suoritus: työmaaliimaus.

Poikittaisjäykisteet

- ei jäykisteitä.

Välipohjapalkisto 1:

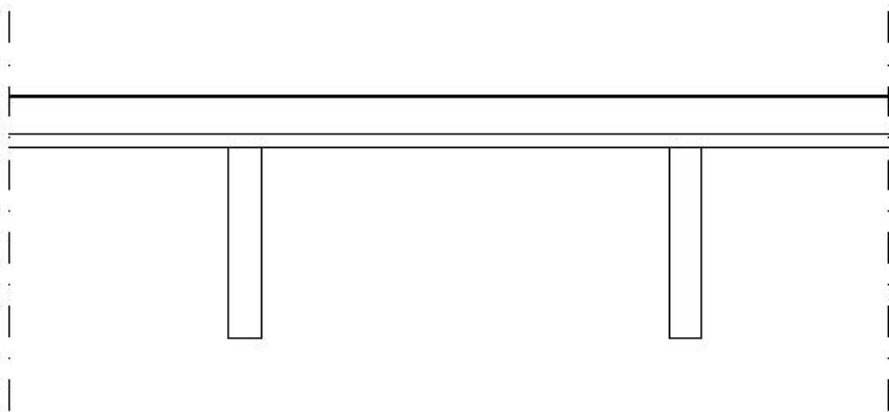
Ensimmäisen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan Kerto-S 45x260 palkilla käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $2,009 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $1,903 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 5).



Kuvio 5. Välipohjapalkisto 1

Välipohjapalkisto 2:

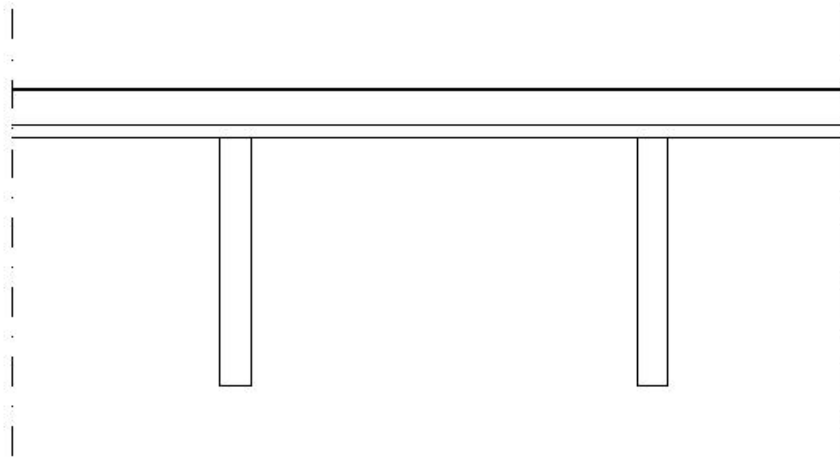
Toisen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan Kerto-S 45x260 palkilla käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $2,009 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $1,689 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 6).



Kuvio 6. Välipohjapalkisto 2

Välipohjapalkisto 3:

Kolmannen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan Kerto-S 45x360 palkilla käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $4,986 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $4,139 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 7).



Kuvio 7. Välipohjapalkisto 3

4 VAIHTOEHTOINEN SUUNNITTELMALLI

4.1 Mahdollisuus vaatimusten lieventämiseen

Seuraavissa laskelmissa on taipuman raja-arvoa suurennettu 0,5 mm:stä 1,0 mm:iin. Tämäkin arvo on vielä Ruotsin sallittua taipuman raja-arvoa, 1,5 mm, pienempi. Kuten Eurokoodien mukaan laskettu välipohjarakenne 1, tässäkin tapauksessa voi sallittua taipumaa korottaa suurennuskertoimella k_L . Eli käytetään sallittua maksimi taipuman arvoa 1,0 mm.

4.2 Standardeja vastaavat rakennemallit

Lievennettyjen tapausten staattinen malli on sama kuin kohdassa 3.2 on esitetty. Laskelmassa on käytetty 1,0 mm:n maksimi taipumaa, pois lukien välipohjarakenne 1. Näissäkin tapauksissa välipohjalaattaa kuormittaa 1 kN:n pistekuorma keskellä välipohjaa. Lattian pienempi leveysuuntaa vastaava jäykkyys pysyy myös vakiona.

Taipumalaskelmat:

Taipuman maksimi lasketaan kaavalla (1), kuten kohdassa 3.3 on esitetty.

Taulukko 5. Lievennettyjen vaatimusten mukaiset rakenteet

Rakenne	Taivutusjäykkyys
Välipohjarakenne 1	$0,755 \cdot 10^9$ Nmm ² /mm
Välipohjarakenne 2	$0,670 \cdot 10^9$ Nmm ² /mm
Välipohjarakenne 3	$1,642 \cdot 10^9$ Nmm ² /mm

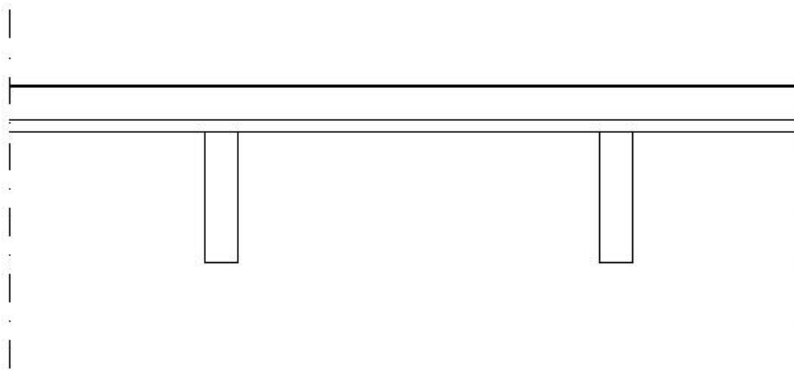
Tarkat laskelmat ovat EXCEL -taulukoina liitteissä (liite 1).

Laskelmista saadut arvot ovat minimiarvoja kyseisille rakenteille. Rakenteet siis voivat olla jäykempiä kuin ne ovat näissä esimerkeissä esitetty (Taulukko 5).

4.3 Vaadittu rakenne lievennetyssä tapauksessa

Välipohjapalkisto 1:

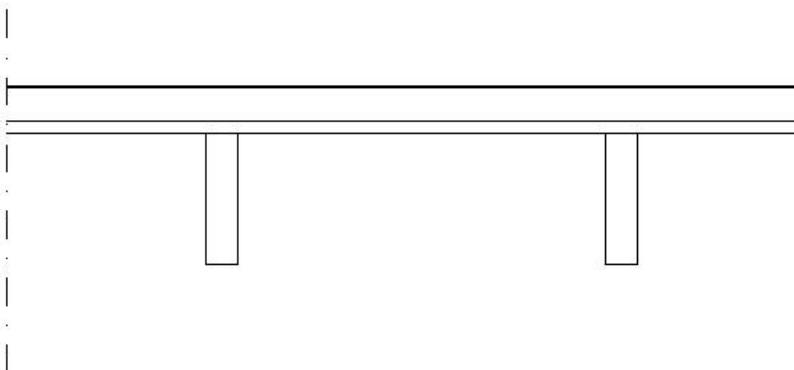
Ensimmäisen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan C24 lujuusluokan puutavarasta 50x200 käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $0,892 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $0,755 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 8).



Kuvio 8. Välipohjapalkisto 1

Välipohjapalkisto 2:

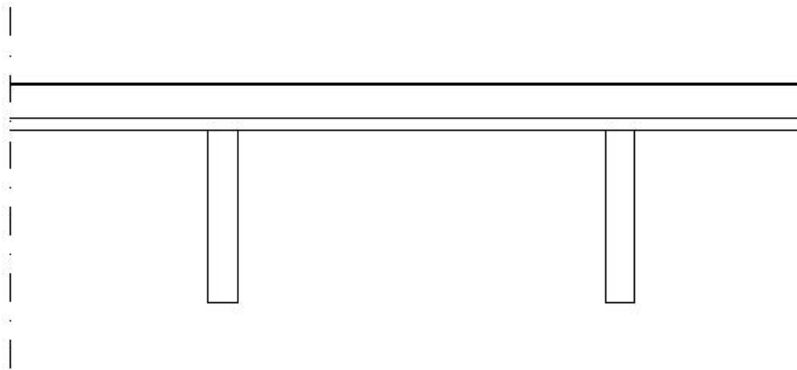
Toisen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan C24 lujuusluokan puutavarasta 50x200 käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $0,892 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $0,670 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 9).



Kuvio 9. Välipohjapalkisto 2

Välipohjapalkisto 3:

Kolmannen esimerkin välipohjarakenteen kantava palkisto toteutetaan minimivaatimuksen mukaan Kerto-S 45x260 palkilla käyttäen palkkijakoa k-600. Rakenteen päälle tulee 18 mm:n havuvaneri ja pintalaattana toimii 50 mm:n kipsivalu. Rakenteen jäykkyys tässä tapauksessa on $2,009 \cdot 10^9$ Nmm²/mm ja vaadittu jäykkyys on $1,642 \cdot 10^9$ Nmm²/mm (Kuvio 10).



Kuvio 10. Välipohjapalkisto 3

5 VÄRÄHTELYTARKASTELU

Välipohjarakenteen alin ominaistuuus lasketaan kaavasta:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} \quad (3)$$

missä

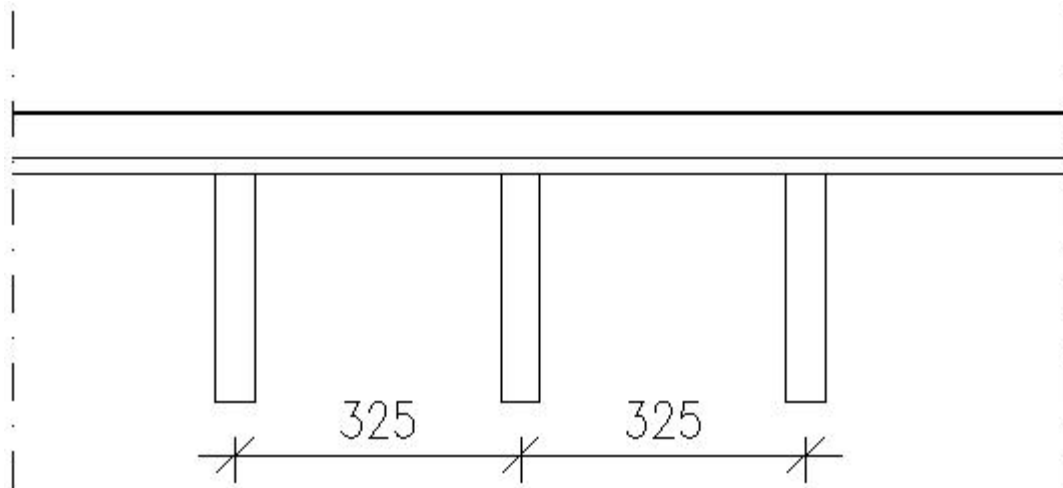
- L on lattiarakenteen jänneväli [m]
- $(EI)_L$ on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden [Nm²]
- s on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]
- m on lattian oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [kg/m²].

Arvo $(EI)_L$ lasketaan lattiapalkin ja halkeilemattoman pintalaatan taivutusjäykkyyksien summana. Pintalaattaa käsitellään tässä tapauksessa kannatinvälin s levyisenä palkkina. Lattiapalkin taivutusjäykkyys lasketaan ripalaatan T-poikkileikkaukselle.

Seuraavassa vaiheessa esitetään, millä palkkien jakovälillä s palkisto toteutettaisiin, jotta alin ominaistuuus 9 Hz täytyisi. Arvo m on vakio kaikissa tapauksissa. Laskelmat löytyvät liitteistä Excel-taulukoina (liite 3).

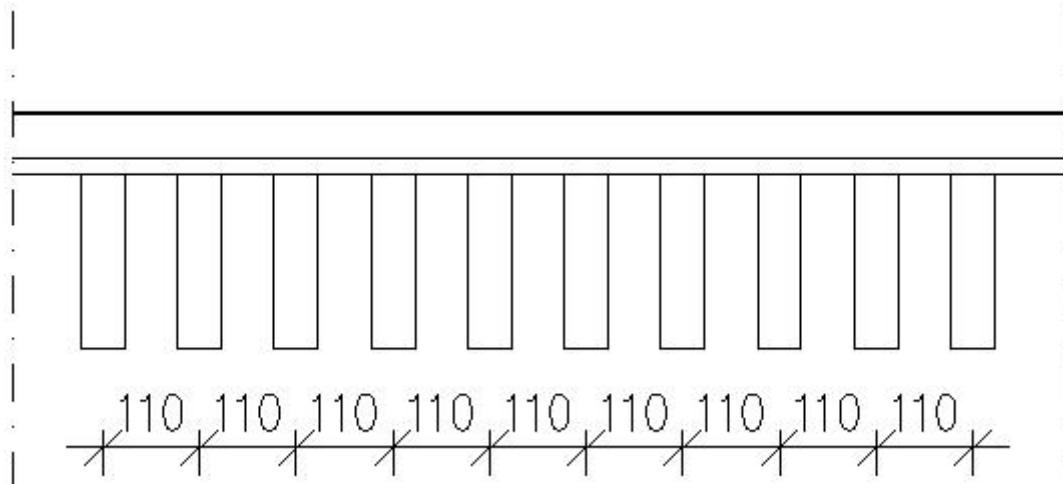
5.1 Välipohjarakenteet 1

Ensimmäisessä esimerkkitapauksessa palkkien jänneväli on 5 m ja taipuma ja värähtely on sallituissa rajoissa. Kuviossa 11 on esitetty Eurokoodin mukainen välipohjarakenne ja kuviossa 12 vaihtoehtoinen välipohjarakenne.



Kuvio 11. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 1

- palkit: Kerto-S 45x260 k-325

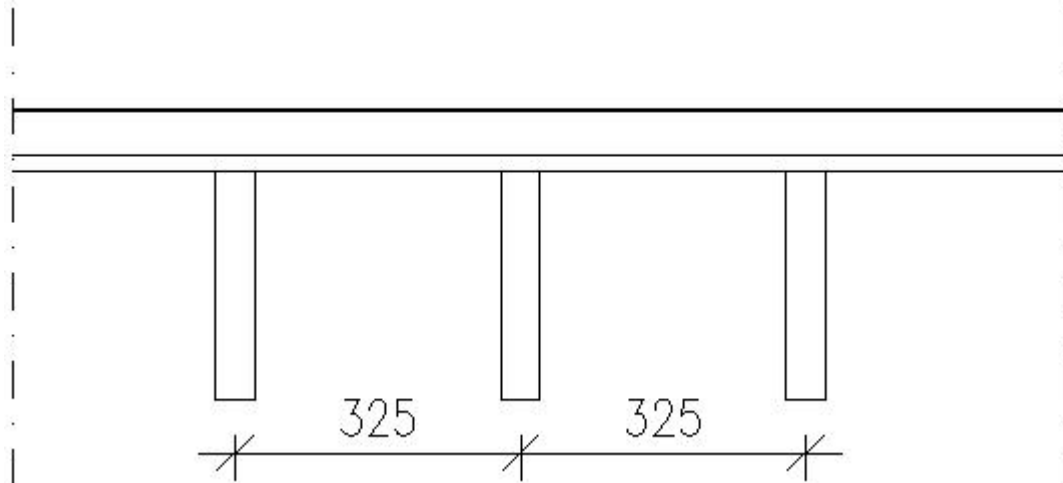


Kuvio 12. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 1

- palkit: C24 50x200 k-110

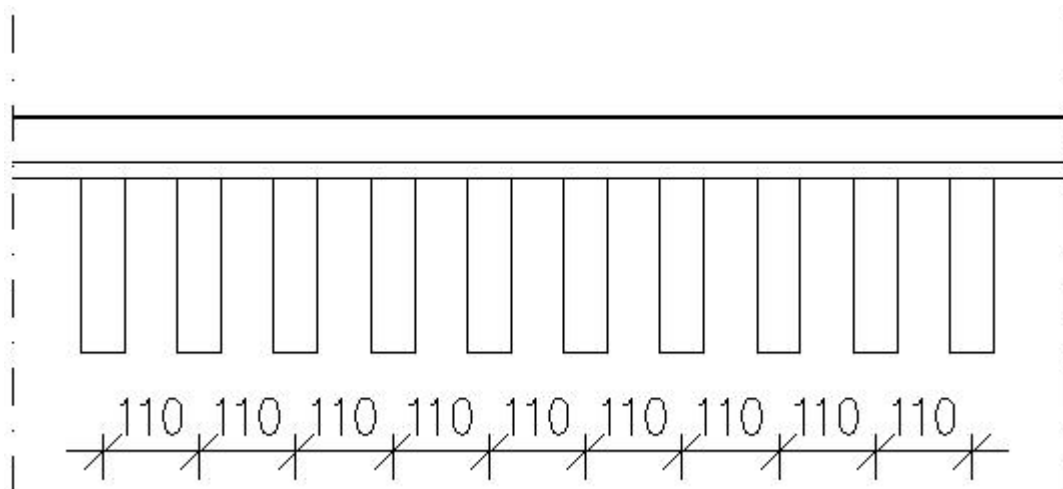
5.2 Välipohjarakenteet 2

Toisessa esimerkkitapauksessa jatkuvan laatan pituus on 10 m, palkkien jänneväli on 5 m ja taipuma ja värähtely on sallituissa rajoissa. Kuviossa 13 on esitetty Eurokoodin mukainen välipohjarakenne ja kuviossa 14 vaihtoehtoinen välipohjarakenne.



Kuvio 13. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 2

- palkit: Kerto-S 45x260 k-325

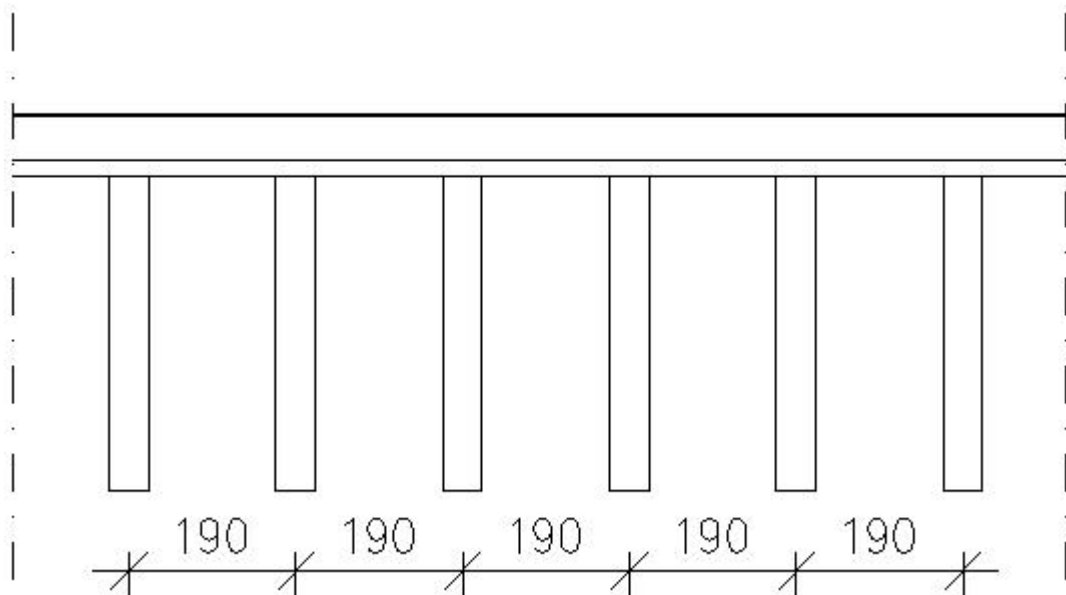


Kuvio 14. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 2

- palkit: C24 50x200 k-110

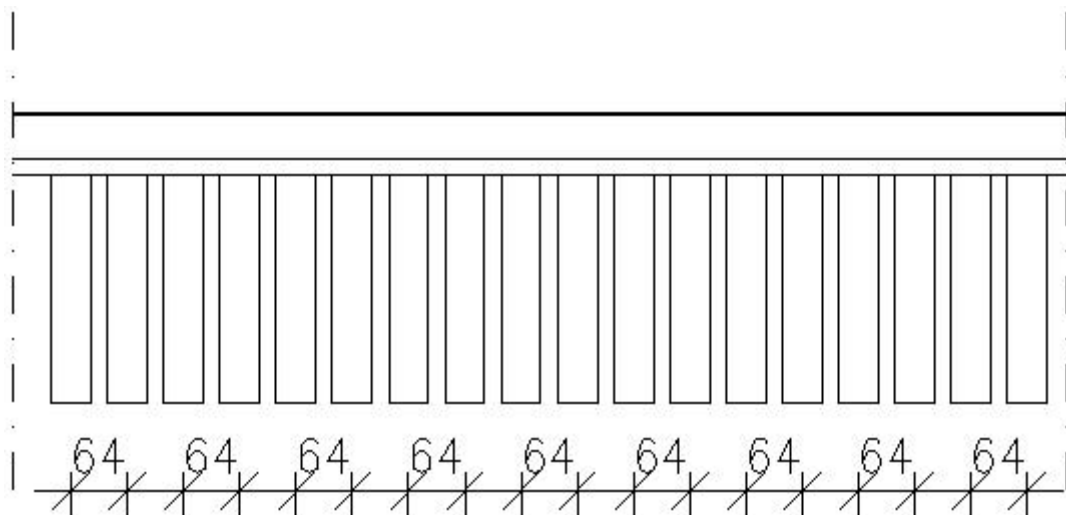
5.3 Välipohjarakenteet 3

Kolmannessa esimerkkitapauksessa jatkuvan laatan pituus on 14 m, palkkien jänneväli on 7 m ja taipuma ja värähtely on sallituissa rajoissa. Kuviossa 15 on esitetty Eurokoodin mukainen välipohjarakenne ja kuviossa 16 vaihtoehtoinen välipohjarakenne.



Kuvio 15. Eurokoodin mukainen välipohjarakenne 3

- palkit: Kerto-S 45x360 k-190



Kuvio 16. Vaihtoehtoinen välipohjarakenne 3

- palkit: Kerto-S 45x260 k-64

6 ERI VAATIMUSTASOLLA SUUNNITELTUIJEN RAKENTEIDEN VERTAILU

Kuten nähdään välipohjarakenteiden läpikäynnissä, taipumaraja-arvon nostamisella ei ole haluttua vaikutusta välipohjapalkistoon. Merkitsevänä tekijänä välipohjan mitoituksessa on laskelmien mukaan värähtelyarvo. Jotta haluttuun alimpaan ominaistajuuteen päästään, on palkiston kannatinväliä pienennettävä dramaattisesti. Näiden esimerkkien tapauksissa tämä ei tämä kuitenkaan onnistu, jos palkistoja ajattelee oikeaan työkohteeseen. Työolosuhteissa, palkin kokoa kasvatetaan mikä nostaa palkiston jäykkyyttä, mikä puolestaan kasvattaa kannatinväliä normaalimpaan suuntaan.

Rakenteita voidaan suunnitella matalataajuuslattiaiksi, joissa ominaistajuus on alle 9 Hz. Tämä tapa ei ole suotavaa asuintalorakentamisessa, koska se aiheuttaa esimerkiksi muille huoneessa oleville haitallisen tuntuista värähtelyä ja esineiden kilinää. Vaihtoehtona asiaa voi lähteä tutkimaan alimman ominaistajuuden pienentämisenä esimerkiksi Ruotsin raja-arvoon 8 Hz. Taajuuden ja taipuman yhteisvaikutus voi tuoda haluttuja tuloksia rakenteisiin.

7 YHTEENVETO

Työssä lähdettiin tutkimaan Suomen Eurokoodien mukaan laskettua puisen välipohjarakenteen taipumaa ja värähtelyä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, voiko taipuman raja-arvoa muuttaa sallivampaan suuntaan ja miten se vaikuttaa rakenteen kokoon ja muotoon. Työssä käytiin läpi kolme yksinkertaista välipohjarakenteen malliesimerkkiä, joista selvitettiin aluksi taipumalaskelmien avulla kantavien palkkien koko. Sitten taipuman raja-arvoa korotettiin hieman ja laskettiin, miten taipuman korottaminen vaikuttaa palkkirakenteeseen. Tämän jälkeen laskettiin, kuinka suuren palkkivälin kukin rakenne vaatii, jotta alin ominaistajuus täyttyy.

Lopputuloksena tutkimuksesta ilmeni, että taipuman raja-arvolla ei ole haluttua vaikutusta rakenteen kokoon. Määräävänä tekijänä välipohjarakenteen värähtelymitoituksessa on alin ominaistajuus, joka taipuman laskelmien jälkeen aiheutti rakenteisiin muutoksia, jotka eivät sovellu oikeaan työympäristöön. Eurokoodien mukaiset rakenteet olivat myös hieman epäkäytännöllisiä värähtelymitoituksen jälkeen. Jos rakenteeseen haluaa ääneneristävyyttä, esimerkiksi huoneistojen välisissä välipohjissa, määrää se palkkivälin yleensä vakioon. Tämä johtaa taas siihen, että taipuma ja värähtely otetaan huomioon palkin kokoa kasvattamalla.

LÄHTEET

- Puuinfo. 2011. Puuvälipohjan värähtelymitoitushjelma: Eurokoodi 5 / Suomen kansallinen liite. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 21.3.2014] Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/mitoitushjelmat/puuvälipohjan-varahtelymitoitus>
- Rahkonen, T H. 2010. Puisen väli- ja yläpohjapalkiston mitoittaminen eurokoodin mukaan. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. Opinnäytetyö.
- Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Talja, A., Toratti, T. & Järvinen, E. 2002. Lattioiden värähtelyt: Suunnittelu ja koekellinen arviointi. Espoo: Valtio Teknillinen Tutkimuskeskus VTT. VTT tiedotteita 2124.
- Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen M. 2013. Suomalainen puukerrostalo: Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.
- Viljakainen, M. Elokuu 2005. Avoin puurakennusjärjestelmä: Suunnitteluperusteet. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Wood Focus Oy. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-suunnitteluperusteet/suunnitteluperusteetkokoohje.pdf>
- Viljakainen, M. & Kevarinmäki, A. 2011. Puurakenteiden suunnitteluohje: Lyhennetty suunnitteluohje. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 21.3.2014] Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>

LIITTEET

Liite 1. Taipumalaskelmat

Liite 2. 1 kN:n kompensatiokuorma

Liite 3. Värähtelylaskelmat

Liite 4. EC5 Puuvälipohjan värähtelymitoitushjelmisto, Puuinfo

Liite 1. Taipumalaskelmat

Taipumalaskelma

$$\delta_{\max} = \gamma \cdot \frac{Fl^2}{(EI)_l}, \text{ jossa } \gamma = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \right]^{1/4}}$$

F= 1 kN pistekuorma josta aiheutuu laatan staattinen taipuma

l= lattian pituus

(EI)_l= lattian suurempi pituussuuntaa l vastaava jäykkyys

(EI)_b= lattian pienempi leveysuuntaa b vastaava jäykkyys (vakio)

Laskelmassa selvitetään minimiä arvolle (EI)_l, josta saadaan palkin koko (kimmomoduuliarvot saatu puuinfoilta (www.puuinfo.fi))

Välipohjan tiedot ja kuormat tapauksessa 1	
Välipohjan tuentatapa	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	5,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{\text{levy}} + (EI)_{\text{pintalaatta}} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{\text{levy}} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

$$(EI)_{\text{pintalaatta}} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

$$\text{Suurennuskerroin } k_l \quad 1,126 \quad (=1/(0,318+0,114 \cdot 5,0))$$

$$\text{Max. taipuma} \quad 0,563 \text{ mm} \quad (=0,5 \cdot 1,126 \cdot 126)$$

$$\delta_{\max} = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \cdot \frac{1000 \text{ N} \cdot (5000 \text{ mm})^2}{(EI)_l}, \text{ jossa max. taipuma } 0,56 \text{ mm}$$

$$(EI)_l = 1903225068 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Välipohjan tiedot ja kuormat tapauksessa 2	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	10,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{levy} + (EI)_{pintalaatta} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{levy} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

$$(EI)_{pintalaatta} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

$$\frac{1}{42 \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^5 \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \cdot \frac{812 \text{ N} \cdot (5000\text{mm})^2}{(EI)_l}$$

, jossa max. taipuma
0,5mm

$$(EI)_l = 1688947081 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Välipohjan tiedot ja kuormat tapauksessa 3	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	7,0 m
Välipohjan leveys	14,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{levy} + (EI)_{pintalaatta} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{levy} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

$$(EI)_{pintalaatta} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

$$\delta_{\max} = \frac{1}{42} \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4} \cdot \frac{811,4 \text{ N} \cdot (7000\text{mm})^2}{(EI)_l}, \text{ jossa max. taipuma } 3,5\text{mm}$$

$$(EI)_l = 4138688779 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Välipohjan tiedot ja kuormat lievennetyssä tapauksessa 1	
Välipohjan tuentatapa	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	5,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{levy} + (EI)_{pintalaatta} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{levy} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

$$(EI)_{pintalaatta} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

Max. taipuma 1,126 mm

$$\delta_{\max} = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^5 \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \cdot \frac{1000 \text{ N} \cdot (5000\text{mm})^2}{(EI)_l}, \text{ jossa max. taipuma } 1,13\text{mm}$$

$$(EI)_l = 755182692,8 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Välipohjan tiedot ja kuormat lievennetyssä tapauksessa 2	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	5,0 m
Välipohjan leveys	10,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{levy} + (EI)_{pintalaatta} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{levy} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

$$(EI)_{pintalaatta} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

$$\frac{1}{42 \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^5 \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \cdot \frac{812 \text{ N} \cdot (5000\text{mm})^2}{(EI)_l}$$

, jossa max. taipuma
1,0mm

$$(EI)_l = 670259093,3 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Välipohjan tiedot ja kuormat lievennetyssä tapauksessa 3	
Välipohjan tuentatapa (jatkuva laatta)	Tuettu kahdelta reunalta
Pintalaatan tyyppi (E= kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50mm; E= 17000
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	0,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma	2,5 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	30 %
Huoneen suurin mitta	7,0 m
Välipohjan leveys	14,0 m
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²

$$(EI)_b = (EI)_{levy} + (EI)_{pintalaatta} \text{ (ei poikittaisjäykisteitä)}$$

$$= 1,81242E+11 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{levy} = 4158216000 \text{ Nmm}^2 \quad (=8556 \cdot (1000 \cdot 18^3/12))$$

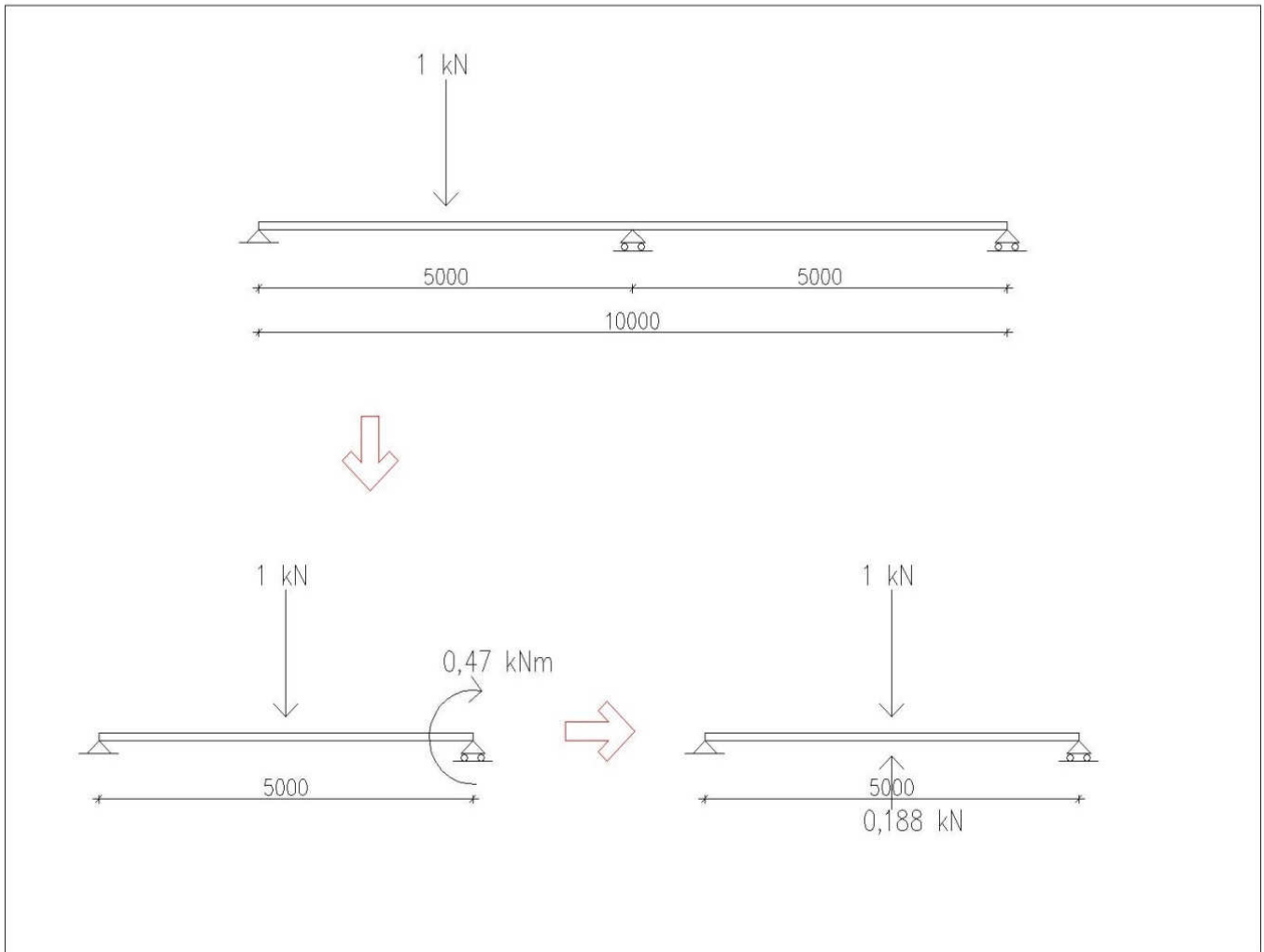
$$(EI)_{pintalaatta} = 1,77083E+11 \text{ Nmm}^2 \quad (=17000 \cdot (1000 \cdot 50^3/12))$$

$$\delta_{\max} = \frac{1}{42 \cdot \left[\frac{1,812 \cdot 10^5 \text{ Nmm}^2/\text{mm}}{(EI)_l} \right]^{1/4}} \cdot \frac{811,4 \text{ N} \cdot (7000\text{mm})^2}{(EI)_l}, \text{ jossa max. taipuma } 1,0\text{mm}$$

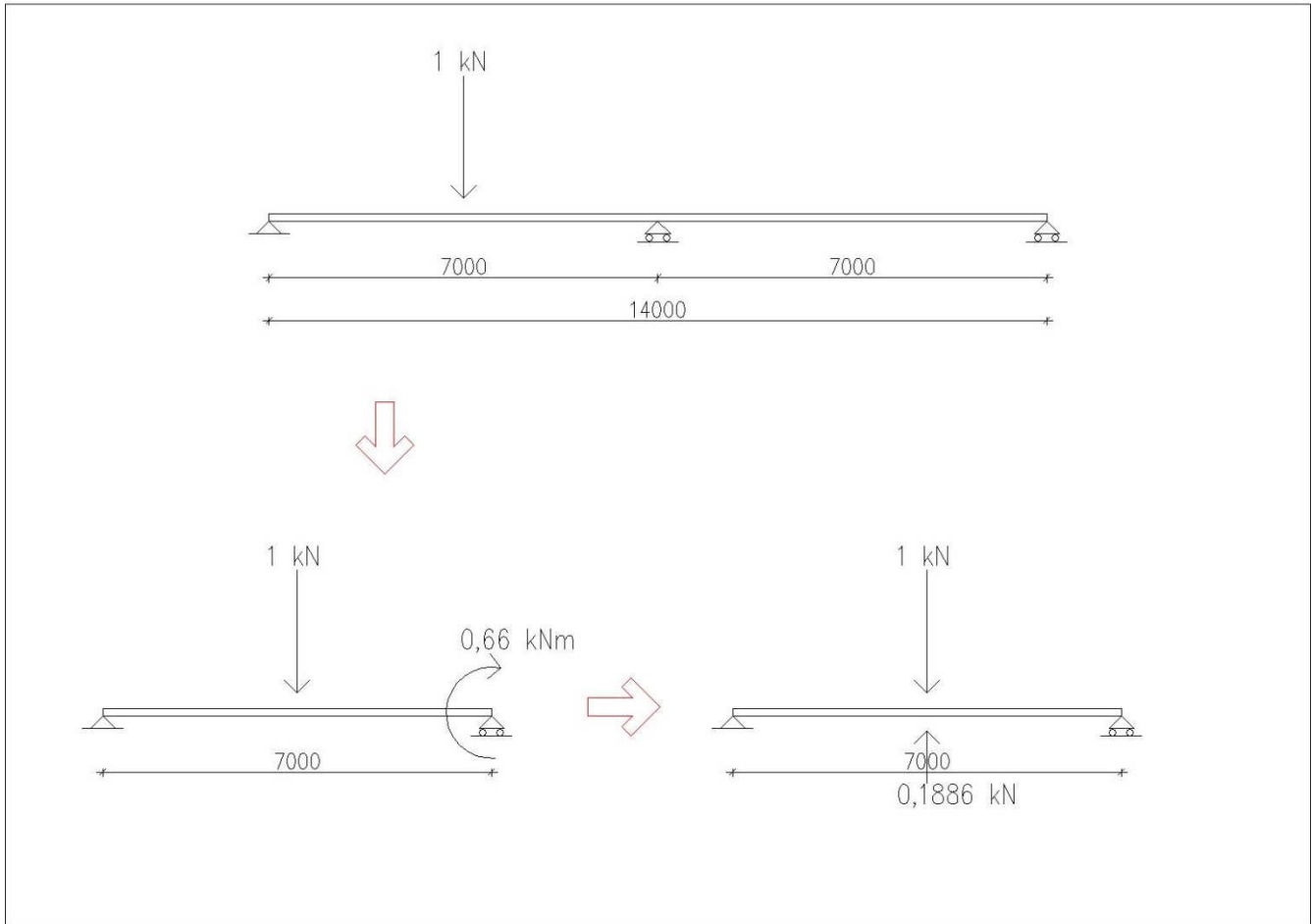
$$(EI)_l = 1642439730 \text{ Nmm}^2/\text{mm}$$

Liite 2. 1 kN:n kompensatiokuorma

Alla olevassa kuvassa esitetty 1 kN:n kompensointi 10m jatkuvalle laatalle



Alla olevassa kuvassa esitetty 1 kN:n kompensointi 14m jatkuvalle laatalle



Liite 3. Värähtelylaskelmat

Värähtelylaskelma

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}}$$

Välipohjarakenne 1 ja 2 Eurokoodin mukaan

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}$$

$$(EI)_p = \frac{45 \cdot 260^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 13\,800 \text{ N/mm}^2 = 909\,558 \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 5\text{m}) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p = 1\,546\,248,6 \cdot (0,4 + s) \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_{pl} = \frac{s \cdot 50^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 17\,000 \text{ N/mm}^2 = 177,083 \cdot s \text{ Nm}^2$$

$$m = (1,0 \text{ kN/m}^2 + 0,2 \text{ kN/m}^2) \cdot 1000 / 9,81 \text{ m/s}^2 + 30 \text{ kg/m}^2 \\ = 152,3 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot (5\text{m})^2} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}}{s \cdot 152,3 \text{ kg/m}^2}}, \text{ missä pienin sallittu ominaistajuus } 9,0 \text{ Hz}$$

$$s = 325 \text{ mm}$$

Välipohjarakenne 3 Eurokoodin mukaan

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}$$

$$(EI)_p = \frac{45 \cdot 360^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 13\,800 \text{ N/mm}^2 = 2\,414\,448 \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 7\text{m}) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p = 3\,621\,672 \cdot (0,4 + s) \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_{pl} = \frac{s \cdot 50^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 17\,000 \text{ N/mm}^2 = 177,083 \cdot s \text{ Nm}^2$$

$$m = (1,0 \text{ kN/m}^2 + 0,2 \text{ kN/m}^2) \cdot 1000 / 9,81 \text{ m/s}^2 + 30 \text{ kg/m}^2 \\ = 152,3 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot (7\text{m})^2} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}}{s \cdot 152,3 \text{ kg/m}^2}}, \text{ missä pienin sallittu ominaistaajuus } 9,0 \text{ Hz}$$

$$s = 190 \text{ mm}$$

Välipohjarakenne 1 ja 2 Lievennetty tapaus

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}$$

$$(EI)_p = \frac{50 \cdot 200^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 11\,000 \text{ N/mm}^2 = 366\,666,7 \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 5\text{m}) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p = 623\,333,3 \cdot (0,4 + s) \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_{pl} = \frac{s \cdot 50^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 17\,000 \text{ N/mm}^2 = 177,083 \cdot s \text{ Nm}^2$$

$$m = (1,0 \text{ kN/m}^2 + 0,2 \text{ kN/m}^2) \cdot 1000 / 9,81 \text{ m/s}^2 + 30 \text{ kg/m}^2 \\ = 152,3 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot (5\text{m})^2} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}}{s \cdot 152,3 \text{ kg/m}^2}}, \text{ missä pienin sallittu ominaistaaajuus } 9,0 \text{ Hz}$$

$$s = 110 \text{ mm}$$

Välipohjarakenne 3 Lievennetty tapaus

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}$$

$$(EI)_p = \frac{45 \cdot 260^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 13\,800 \text{ N/mm}^2 = 909\,558 \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 7\text{m}) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p = 1\,364\,329,5 \cdot (0,4 + s) \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_{pl} = \frac{s \cdot 50^3}{12} \text{ mm}^4 \cdot 17\,000 \text{ N/mm}^2 = 177,083 \cdot s \text{ Nm}^2$$

$$m = (1,0 \text{ kN/m}^2 + 0,2 \text{ kN/m}^2) \cdot 1000 / 9,81 \text{ m/s}^2 + 30 \text{ kg/m}^2 \\ = 152,3 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot (7\text{m})^2} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot [(EI)_p + (EI)_T] + (EI)_{pl}}{s \cdot 152,3 \text{ kg/m}^2}}, \text{ missä pienin sallittu ominaistajuuus } 9,0 \text{ Hz}$$

$$s = 64 \text{ mm}$$

Liite 4. EC5 Puuvälipohjan värähtelymitoitus ohjelmisto, Puuinfo

		Ohjelmaversio 1.2	
Rakennuskohde X	Työn nro.	X	
	Päiväys	Tekijä	1 / 3
Suunnittelija X	Sisältö	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)	

VÄLIPOHJAN TIEDOT JA KUORMAT		Info
Välipohjan tuentatapa	Kaksi reunaa tuettu	▼
Pintalaatan tyyppi (E=kimmomoduuli N/mm ²)	Kipsivalu 50 mm; E=17000	▼
Välipohjan omapaino ilman pintalaattaa	g = 0,2 kN/m ²	
Muuttuva kuorma	q = 2,5 kN/m ²	
Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus	ψ ₂ = 30 %	
Huoneen suurin mitta	5,0 m	
Välipohjan leveys	5,0 m	
Välipohjan omapainoon on lisätty pintalaatan paino	1,0 kN/m ²	

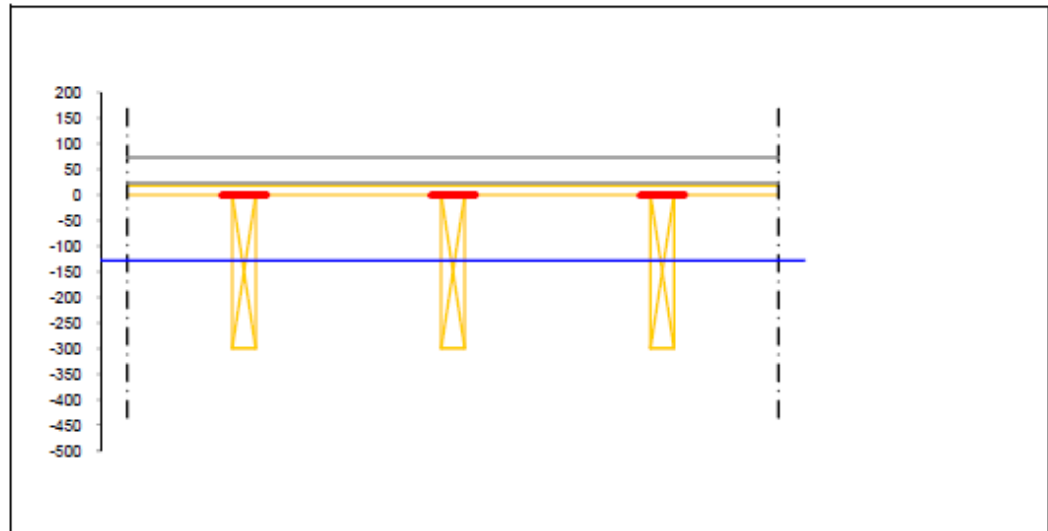
PALKISTO JA ALUSLATTIALEVYTYS		Info
Palkin jänneväli	5000 mm	
Palkkien k-jako	400 mm	
Palkin tyyppi ja koko	Kerto-S 45x300	▼
Palkkien tuplaus	Ei tuplapalkkeja	▼
Levyn tyyppi	Havuv. 18/6 ply	▼

ALUSLATTIALEVYN KIINNITYS		
Liitintyyppi	Kampan. 2,5x60	▼
Liitinjako	200 mm	

LIITTORAKENNEVAIKUTUKSEN HUOMIOIMINEN		Info
Liittorakenteen liitostapa	Limaliitos	▼
Liimaustyön suoritus	Työmaallimaus	▼

POIKITTAISJÄYKISTEET		Info
Poikittaisjäykisteiden määrä (ks. Info)	Ei jäykisteitä	▼

Rakennuskohde	Työn nro.	Sivu
X	X	2 / 3
	Päiväys X	
Suunnittelija	Sisältö	
X	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)	



MITOITUSTULOKSET			KUVAN MERKINTÖJÄ
OMINAISTAAJUUS		9,5 Hz	— Pintalaatta
TAIPUMA 1 kN:n PISTEKUORMASTA		0,30 mm	— Puikkoliitin / Liima
HYVÄKSYTTÄVYYS			— Neutraaliakseli
			— Poikittaisjäykisteen välikapulat
Ominaistaajuus	vähintään 9 Hz	OK!	— Poikittaisjäykisteen vetolauta
Taipuman käyttöaste	52 %	OK!	

MATERIAALIT JA POIKKILEIKKAUS

$E_{0,mean}$	13800	N/mm ²	Palkin kimmomoduuli
$E_{c,mean}$	4238	N/mm ²	Levyn puristusimmomoduuli (aina heikomman suunnan arvo)
E_{mean}	3444	N/mm ²	Levyn taivutusimmomoduuli palkiston suunnassa
E_{mean}	8556	N/mm ²	Levyn taivutusimmomoduuli palkistoa vastaan kohtisuor. suunnassa
A_{palkki}	13500	mm ²	Palkin poikkileikkauksen pinta-ala
b_{ef}	400	mm	Levyn tehollinen leveys liittorakenteessa
A_{levy}	7200	mm ²	Levyn poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala liittorakenteessa

NEUTRAALIAKSELI

K_{ser}	739,57	N/mm	Liittimen siirtymäkerroin
γ_{levy}	1,00		Apusuure levyille (liittorakenne)
γ_{palkki}	1,00		Apusuure palkille (liittorakenne)
a_1	136,62	mm	Etäisyys neutraaliakselista levyn painopisteeseen
a_2	22,38	mm	Etäisyys neutraaliakselista palkin painopisteeseen

Rakennuskohde	Työn nr.	Sivu
X	X	
	Päiväys	Tekijä
	X	X
Suunnittelija	Sisältö	
X	Puuvälipohjan värähtelymitoitus (EC 5)	

VÄLIPOHJAN JÄYKKYYS PALKISTON SUUNNASSA

(EI) _{palkisto}	4322522048	Nmm ² /mm	Palkiston taivutusjäykkyys
(EI) _{pintalaatta}	177083333,3	Nmm ² /mm	Pintalaatan taivutusjäykkyys
Σ(EI) _L	4499605381	Nmm ² /mm	Taivutusjäykkyys yhteensä (palkisto, pintalaatta)

VÄLIPOHJAN JÄYKKYYS PALKISTOA VASTAAN KOHTISUORASSA SUUNNASSA

(EI) _{levy}	4158216	Nmm ² /mm	Aluslattialevyn taivutusjäykkyys
(EI) _{pintalaatta}	177083333,3	Nmm ² /mm	Pintalaatan taivutusjäykkyys
(EI) _{jäykiste}	0	Nmm ² /mm	Poikittaisjäykisteiden taivutusjäykkyys
Σ(EI) _B	181241549,3	Nmm ² /mm	Taivutusjäykkyys yhteensä (levy, pintalaatta, poikittaisjäykisteet)

VÄLIPOHJAN TAIPUMA PISTEKUORMASTA

k _L	1,13		Taipumarajan korotuskerroin
δ _{sallittu}	0,56	mm	Välipohjan sallittu taipuma 1 kN:n pistekuormasta
k ₀	0,45		Apu suure jäykkyyksien suhteen
δ _{laatta}	0,30	mm	Välipohjan taipuma 1 kN:n pistekuormasta
δ _{palkki}	1,86	mm	Yksittäisen palkin taipuma 1 kN:n pistekuormasta

VÄLIPOHJAN OMINAISTAAJUUS

m ₁	122,32	kg/m ²	Välipohjan omapaino
m ₂	76,45	kg/m ²	Muuttuvan kuorman pitkäaikainen osuus
Σ(EI) _L	4499605,381	Nm ² /m	Taivutusjäykkyys palkiston suunnassa
Σ(EI) _B	181241,5493	Nm ² /m	Taivutusjäykkyys palkistoa vastaan kohtisuorassa suunnassa
f ₁	9,45	Hz	Välipohjan ominaistaajuus

MUUTA

Aluslattialevyn tyyppi:	Ympäripontattu havuvaner
Aluslattialevyn kiinnitys:	Kampan. 2,5x60
Aluslattialevyn liittimien k-jako:	200 mm
Liittorakenne:	Aluslattialevy ja palkki toimivat liittorakenteena
Liittorakenteen liitostapa:	Työmaaliimaus

- Vanerilevy asennetaan siten, että levyn pintaviilun syysuunta tulee kohtisuoraan palkkeja vastaan
- Aluslattialevyn ponttisaumoissa sekä levyn ja palkin välissä suositellaan käytettäväksi polyuretaaniliimaa, vaikka liimausta ei hyödynnettäisikään värähtelymitoituksessa (narinan esto)
- Aluslattialevyn saumoissa ei saa olla väljyyttä liittorakenteen vaikutuksen takia

HUOMIO!

Välipohja tulee mitoittaa lisäksi staattisille kuormille murto- ja käyttörajatilassa.