

PUURAKENTEISEN OMAKOTITALON EUROKOODIN
MUKAINEN PALKIN MALLILASKELMA

Raimo Ronkainen
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

PUURAKENTEISEN OMAKOTITALON EUROKOODIN
MUKAINEN PALKIN MALLILASKELMA

Raimo Ronkainen
Opinnäytetyö
2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja + Liitteitä
<u>Rakennustekniikka</u>	<u>Insinööriyö</u>	<u>20</u> + <u>1</u>
Suuntautumisvaihtoehto	Aika	
<u>Talon- ja korjausrakentaminen</u>	<u>26.04.2011</u>	
Työn tilaaja	Työn tekijä	
<u>Lapli-Talot Oy</u>	<u>Raimo Ronkainen</u>	
Työn nimi		
<u>Puurakenteisen omakotitalon eurokoodin mukainen palkin mallilaskelma</u>		
Asiasanat		
<u>eurokoodi, puurakenteet, rakennesuunnittelu, palkit</u>		

Vuoden 2013 aikana Suomessa ja koko Euroopassa yhteiseurooppalainen eurokoodi tulee korvaamaan kansalliset määräykset. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Lapli-Talot Oy:lle eurokoodin mukainen suunnittelua helpottava palkin mallilaskelma.

Mallilaskelma tehtiin esimerkkikohteen avulla. 1,5-kerroksisen elementtirakenteisen omakotitalon rakenteista laskelmassa käsiteltiin välipohjapalkin sekä kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkin mitoitus. Laskelma laadittiin RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen mukaan. Käsien tehtyjen laskujen tarkistamiseksi työssä käytettiin Finnforestin eurokoodin mukaista puurakenteiden mitoitushjelmaa Finnwoodia sekä QSE-statiikkaohjelmaa.

Mallilaskelman ohella opinnäytetyössä suunniteltiin myös esimerkkikohteen elementit ja kantavat rakenteet. Lisäksi työhön kuului esimerkkikohteen tarvikkeiden määrälaskenta.

Kohteessa olevat välipohjapalkit ovat PRT-Lami Oy:n I-palkkeja. I-palkille on RIL 1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeessa ohje I-palkin mitoittamiseen, mutta se ei ole kovin yksityiskohtainen. Palkki mitoitettiin kahden eri tavalla ajasta riippuvan puuosan ominaisuuksien yhdistelmänä. Kohteen välipohjarakenne ei ole eurokoodin lyhennetyin ohjeen ja siinä esitetyn värähtelymitoituksen mukainen, joten rakenne ei täysin vastaa esitettyä värähtelymitoitusta.

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES ABSTRACT

Degreeprogramme	Thesis	Page + Appendices
<u>Civil Engineering</u>	<u>B. Sc</u>	<u>20 + 1</u>
Line	Date	
<u>Housebuilding and Renovating</u>	<u>26.04.2011</u>	
Comissioned by	Author	
<u>Lapli-Talot Ltd</u>	<u>Raimo Ronkainen</u>	
Thesis title		
<u>Eurocode Based Model Calculation of Beam in Wooden Detached House</u>		
Keywords		
<u>eurocode, woodwork, structural designing, beams</u>		

During year 2013 eurocode will replace the old national instructions in Finland and also in the whole Europe. The aim of this thesis was to create Eurocode based model calculation of a beam to Lapli-Talot Ltd to help their designing.

The model calculation was made with the help of an example project. The example project was a 1,5-storey prefabricated detached house. The calculation includes the dimensioning of floor joist and the support beam of first floor exterior wall. The calculation was made based on the regulations of RIL 205-1-2007. Finnforest's eurocode based timber structural designing software Finnwood was used to check the hand calculations. A statics program QSE was also used.

Along the model calculation the study includes the element and supporting structure designing of the example project. The study also includes the amount calculation of the example project.

The floor joists are PRT-Lami Ltd's I-beams. There are dimensioning instructions for I- beams in RIL 205-1-2007 but the instructions are not very specific. I-beam was dimensioned as a combination of properties of two wooden parts which depend on time in a different way. The intermediate floor structure is not one with the instructions in Eurocode so the dimensioning was presented for a structure according to the instruction.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLTÖ	5
1 JOHDANTO	6
2 EUROKOODIN MUKAINEN SUUNNITTELU	7
2.1 Kuormien yhdistely	7
2.2 Aika- ja käyttöluokat	8
2.3 Materiaalien mitoitusarvot	10
3 SUUNNITTELUPROSESSI	11
4 PALKKIEN MALLILASKELMA	13
4.1 Esimerkkikohteen esittely	13
4.2 Kohteen kuormat	16
4.3 Palkin mitoitus	17
5 YHTEENVETO	19
LÄHTEET	20
LIITE 1. EUROKOODIN MUKAINEN PALKIN MALLILASKELMA	21

1 JOHDANTO

Kantavien rakenteiden suunnittelu on aiemmin perustunut kansallisiin normeihin. Vuodesta 2007 lähtien on ollut siirtymäaika, jolloin käytössä ovat olleet sekä kansalliset suunnitteluohjeet että uudet, yhtenäiset eurooppalaiset standardit, eurokoodit. Lopullinen siirtyminen eurokoodien käyttöön oli alun perin määrä tapahtua vuonna 2010, mutta niiden käyttöönotto on siirtynyt useaan kertaan ja tämänhetkinen käyttöönottovuosi on 2013. (Eurocode help desk. 2011.)

Lapli-Talot Oy on elementtitalotehdas, jonka päätoimipiste sijaitsee Torniossa. Suunnittelumääräyksien muutoksen vuoksi Lapli-Talot Oy tarvitsee euronormien mukaisen mallilaskelman. Laskelma sisältää kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkin ja välipohjapalkin mitoitus. Laskelma laaditaan esimerkkikohteen avulla. (Seikkula 2011.)

Esimerkkikohteenä on keväällä 2011 Kangasalle rakennettava 1,5-kerroksinen Lapli-omakotitalo. Kattorakennetta kantavana ulkoseinän aukkopalkkina kohteessa toimii sahatavara 60x148 mm, lujuusluokaltaan C24. Kohteen välipohjarakenteena toimivat I-palkit. I-palkit mitoitetaan kahden ajasta eri tavalla riippuvan puuosan ominaisuuksien yhdistelynä, joten niiden laskentaan joudutaan soveltamaan eurokoodissa olevia ohjeita. (RIL 205-1-2007. 41.)

Laskelmat suoritetaan Finnwood-mitoitusohjelmalla, QSE-statiikkaohjelmalla sekä käsin laskuina. Mallilaskelmassa viitataan RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeeseen sekä lisätään selventäviä tekstejä. Laskelmassa otetaan huomioon myös RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje, jossa on päivitetty versio muun muassa tukipainemitoituksesta. Mallilaskelma on liitteenä 1.

2 EUROKOODIN MUKAINEN SUUNNITTELU

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja. Eurokoodien soveltaminen eri maissa edellyttää kunkin maan kansallisen liitteen (national annex (NA)) käyttämistä. Eurokoodijärjestelmä sisältää kymmenen pääosaa, joista tämän työn liitteenä olevan mallilaskelman tekemiseen on käytetty osia EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset sekä EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. (Eurocode help desk. 2011.)

Eurokoodit tulivat viralliseen käyttöön vuonna 2007. Tällöin niin kutsutun ensimmäisen paketin kansalliset liitteet valmistuivat. Eurokoodien piti korvata vanhat määräykset ja ohjeet vuoden 2010 aikana, mutta niiden käyttöönotto on siirtynyt useaan otteeseen ja tällä hetkellä käyttöönoton tulisi tapahtua vuonna 2013. (Eurocode help desk. 2011.)

2.1 Kuormien yhdistely

Murtorajatilassa rakenteen kestävyyttä ja tasapainoa tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavilla kuormitusyhdistelyillä:

Pysyvän aikaluokan mitoituskuorma määritetään kaavalla 1.

$$1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} \quad \text{KAAVA 1}$$

Keskipitkän aikaluokan mitoituskuorma määritetään kaavalla 2.

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,05 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,2} \quad \text{KAAVA 2}$$

Hetkellisen aikaluokan mitoituskuorma määritetään kaavalla 3.

$$\begin{cases} 1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,t} + 1,05 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,05 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,2} \\ 1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,05 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,2} + 0,95 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,t} \end{cases} \quad \text{KAAVA 3}$$

G_{kj} = pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ = lumi- ja hyötykuorman ominaisarvosta suurempi

$Q_{k,2}$ = lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi

$Q_{k,t}$ = tuulikuorman ominaisarvo

K_{F1} = Seuraamusluokan mukaan määräytyvä varmuuskerroin

Pysyvien kuormien arvo G_{kj} kerrotaan 1,15 sijasta luvulla 0,9, jos pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä.

Käyttöraajatilamitoitusta tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan aika-luokittain seuraavilla kuormitusyhdistelyillä:

Hyöty- tai lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma, mitoituskuorma lasketaan kaavalla 4.

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7 \cdot Q_{k,2} \quad \text{KAAVA 4}$$

Tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma, mitoituskuorma lasketaan kaavalla 5.

$$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7 \cdot Q_{k,1} + 0,7 Q_{k,2} \quad (\text{RIL 205-1-2007. 179-181.}) \quad \text{KAAVA 5}$$

2.2 Aika- ja käyttöluokat

Laskenta-arvojen saamiseksi puurakennesuunnittelussa materiaaliominaisuuksia joudutaan muuttamaan kuormitusajan ja kosteusolosuhteiden mukaan. Rakenne asetetaan tiettyyn aika- ja käyttöluokkaan. (RIL 205-1-2007. 30.)

Kuormien aikaluokka määritetään tietyn ajan vaikuttavan vakiokuorman kestolla. Muuttuvan kuorman aikaluokka määritetään kuorman tyypillistä ajallista vaihtelua koskevan arvion perusteella. Kuormien aikaluokat esitetään taulukossa 1. (RIL 205-1-2007. 30.)

TAULUKKO 1. Kuormien aikaluokat (RIL 205-1-2007. 30)

Kuorman aikaluokka	Kuorman vaikutusaika
pysyvä	yli 10 vuotta
pitkäaikainen	6 kuukautta - 10 vuotta
keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta
lyhytaikainen	alle yksi viikko
hetkellinen	

Rakenteet jaotellaan taulukon 2 mukaisesti käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu lujuusarvojen jaotteluun ja tietyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten.

TAULUKKO 2. Rakenteiden käyttöluokat (RIL 205-1-2007. 30-31)

Käyttöluokka	Olosuhde
Käyttöluokka 1.	Esimerkiksi puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa
Käyttöluokka 2.	Ulkoilmassa oleva kuiva puurakenne. Esimerkiksi rossipohjan ja kylmän ullakkotilan puurakenteet kuuluvat käyttöluokkaan 2
Käyttöluokka 3.	Ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena olevat puurakenteet kuuluvat käyttöluokkaan 3.

2.3 Materiaalien mitoitusarvot

Materiaalien laskentalujuuksiin vaikuttavat kuormituksen kesto, ympäröivät olosuhteet sekä materiaalin omat ominaisuudet.

Lujuusominaisuuksien mitoitusarvo lasketaan kaavalla 6.

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad \text{KAAVA 6}$$

X_k = lujuusominaisuuden ominaisarvo

γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

k_{mod} = kuorman keston- ja kosteusluokan huomioiva muunnoskerroin

Materiaalien varmuuslukuja ovat

$\gamma_M = 1,4$ sahatavaralle ja pyöreälle puutavaralle yleensä

$\gamma_M = 1,25$ havusahatavaralle, jonka lujuusluokka $\geq C35$

$\gamma_M = 1,2$ liimapuulle ja kertopuulle

$\gamma_M = 1,25$ puulevyille (RIL 205-1-2007. 42.)

3 SUUNNITTELUPROSESSI

Rakennushankkeen aluksi asiakas valitsee Lappli-Talojen mallistosta mieleisensä mallin ja siihen tehdään asiakkaan ja paikallisen rakennusvalvonnan vaatimat muutokset. Kun sekä asiakas että rakennusvalvontavirasto ovat hyväksyneet pääkuvat, siirtyy suunnittelu rakennesuunnittelijalle. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on suunnitella pääkuvien ja toimitustapaselosteen mukaiset rakennesuunnitelmat kohteeseen. Suunnitelmien piirtämiseen käytetään AutoCad-ohjelmaa. Rakenteiden mitoitukseen käytetään Finnwood-puurakenteiden mitoitusohjelmaa. (Seikkula 2011.)

Rakennesuunnittelu alkaa perustuksen mittaohjeen tekemisellä. Lappli-Talot Oy ei suunnittele perustuksia, vaan paikallinen perustussuunnittelija suunnittelee perustukset kohteen perustusolosuhteiden mukaisiksi. Mittaohjeessa esitetään perustuksen ulkomitat, perustuskorkeudet ja perustuksille tulevat viiva- sekä pistekuormat. Mittaohjeen lisäksi tehdään perustusleikkaukset, joista perustussuunnittelijalle selviävät rakenteiden oleelliset asiat. Esimerkkikohteen seinäelementin alapinta on samassa korkeudessa kuin lattian pinta, joten ennen elementtien asennusta on asiakkaan asennettava alaohjauspuu, johon elementit kiinnitetään. Alaohjauspuun mitoituksesta tehdään myös oma piirustus. Mittaohjetta tehtäessä rakennesuunnittelijan on tarkistettava pääkuvien perusteella, miten pääkuvien suunnittelija on ajatellut rakenteet toimivaksi, ja laskettava kullekin perustuksen kohdalle tulevat kuormitukset. (Seikkula 2011.)

Väliseinämitoituksessa esitetään väliseinien paikat. Mitat ovat ulkoseinän sisäpinnasta väliseinän rungon pintaan. Väliseinämitoituksen mukaan liitetään väliseinäliitosdetaljit sekä kosteiden tilojen rakenneleikkaukset. (Seikkula 2011.)

Elementtien mitoituskuvan tekeminen on keskeinen osa rakennesuunnitteluprosessia. Siihen liittyy myös elementtien leikkauskuvien suunnittelu sekä ensimmäisestä että toisesta kerroksesta toimitustapaselosteen mukai-

siksi. Edellä mainitut piirustukset menevät elementtilinjastoille, joissa elementit valmistetaan. (Seikkula 2011.)

Elementtisuunnittelu alkaa elementtien mittojen suunnittelulla eli elementtien katkaisukohtien määrittämisellä. Katkaisukohtat ovat yleensä joko ikkunan tai oven pielessä tai väliseinän kohdalla. Elementin maksimipituus on 12 metriä. Korkean elementin ollessa kyseessä elementin suurin mahdollinen leveys on 3,6 metriä. Mitat ovat peräisin kuljetussyistä. Elementtimitoituksen pohjana käytetään talon pohjapiirrosta, jonka päälle elementtimitoitus tehdään. Ensimmäisenä kuvaan lisätään elementtien liitosdetaljit nurkkiin sekä mahdollisiin seinän keskellä oleviin katkaisukohtiin. Liitosdetaljit ovat vakioituja ja ne esitetään elementtien liitosdetaljit -piirustuksessa. Ikkunoiden yläreunojen korkeudet sekä koot ilmenevät kuvasta, jotta ikkunat saadaan oikeaan korkeuteen. Elementtimitoitukseen merkitään myös mahdollisten lisätolppien paikat ikkunoiden pieliin sekä esimerkiksi erkkerinylityspalkkeja varten tulevat lisätolppien paikat ja pituudet. Työmaalla elementtimitoituskuvasta tarkistetaan muun muassa runkomitat sekä runkoristimitat. (Seikkula 2011.)

Kantavat rakenteet -kuvassa esitetään sekä väli- että yläpohjan kantavat rakenteet. Esimerkkikohteessa väli- ja yläpohjan kannattajana toimivat I-palkit, joista välipohjapalkki mitoitetaan liitteenä olevassa esimerkissä (Liite 1). Kantavat rakenteet -kuvan jokaisesta ratkaisevasta kohdasta tehdään leikkauspiirros. Leikkauksien lisäksi tehdään kiinnitysdetaljit-kuva, jossa esitetään liitoskohtien tarkat kiinnitykset. Esimerkkikohteen harjalinjalla katossa kulkee liimapuinen kurkihirsi, johon kattopalkkina toimivat I-palkit tukeutuvat toisesta päästään, toinen pää I-palkeista tukeutuu ulkoseinälle. Kurkihirttä kannattelevat päätyseinien lisäksi kolme teräspilaria. (Seikkula 2011.)

4 PALKKIEN MALLILASKELMA

Insinööriyön osana olevan mallilaskelman (liite 1) tarkoituksena on tutustuttaa Lapli-talot Oy:n rakennesuunnittelijat eurokoodin mukaiseen palkin mitoitukseen. Laskelmaa on tarkoitus käyttää rinnakkain RIL-205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen kanssa. Se sisältää sekä Suomen kansallisen liitteen että eurokoodi 5:n. (RIL 205-1-2007. 3.)

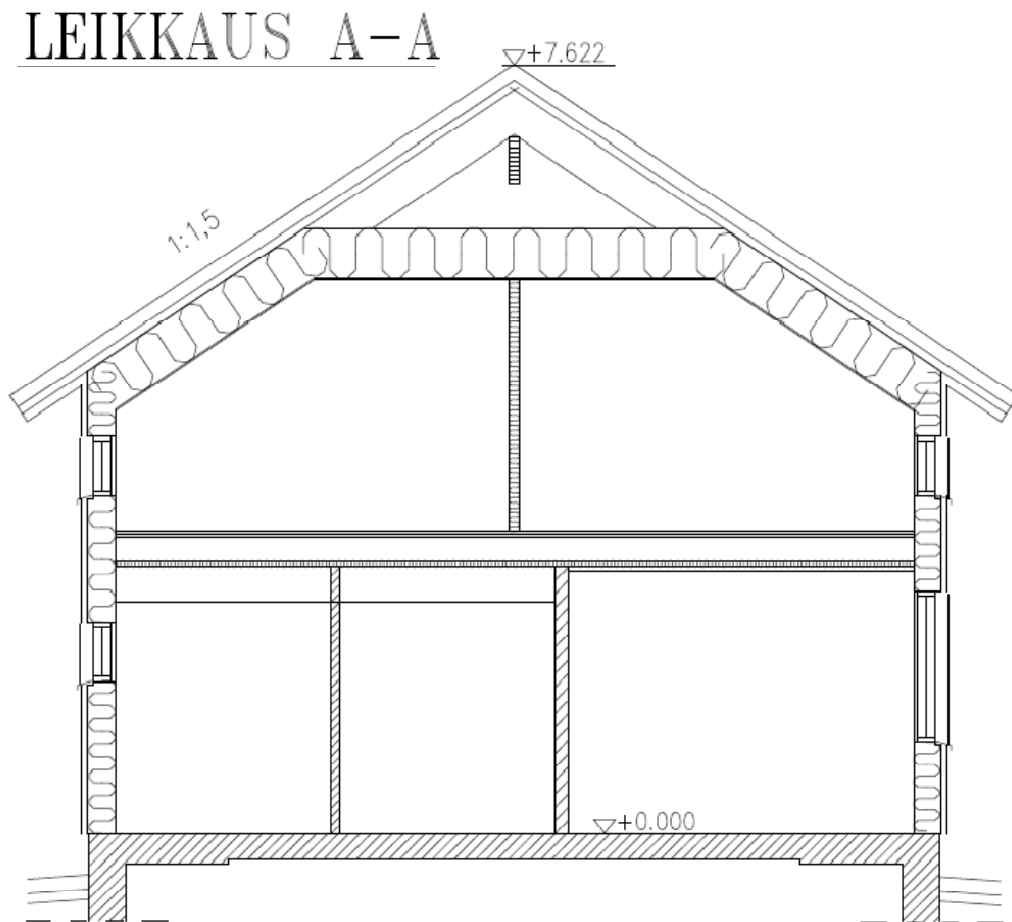
Mallilaskelma tehdään standardien EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset sekä EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu mukaan. Laskelmassa keskitytään eurokoodin mukaiseen puupalkin ja I-palkin mitoitukseen. Eurokoodista on tehty käyttäjäystävällinen ja tiivis talonrakenteiden suunnitteluohje, RIL 205-2007. Ohje on tarkoitettu Suomessa tehtäviin kohteisiin ja ulkomaille suunniteltaviin kohteisiin tulee käyttää kyseisen maan kansallista liitettä (NA). Ohje on jaettu kahteen osaan. Mallilaskelmaa tulee käyttää yhdessä ensimmäisen osan, RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen kanssa. Toinen osa, RIL 205-2-2007, sisältää puurakenteiden palomitoituksen. Julkaisuja ja mallilaskelmaa ei tule käyttää muiden määräysten ja ohjeiden kanssa rinnakkain, vaan pelkästään eurokoodien kanssa. (RIL 205-1-2007. 3.)

Suunnittelijan on edellä mainittuja julkaisuja ja mallilaskelmaa käyttäessään seurattava mahdollisia päivityksiä ja muutoksia. Päivitykset ja muutokset ilmoitetaan osoitteissa www.eurocodes.fi ja www.ril.fi/RIL205. (RIL 205-1-2007. 4,12.)

4.1 Esimerkkikohteen esittely

Esimerkkikohteenä on keväällä 2011 Kangasalle rakennettava elementtirakenteinen 1,5-kerroksinen Lapli-omakotitalo. Malli on Lapli-Talot Oy:n perinnetalot -malliston Merikotka 166.

Esimerkkikohteen yleisleikkauksessa (kuva 2) esitetään runkorakenne.



KUVA 2. Esimerkkikohteen yleisleikkaus A-A

Perustuksen yläpinta on korossa ± 0.000 . Seinäelementin alapinta lähtee samasta korosta. Elementit kiinnitetään perustuksiin alaohjauspuulla, joka on kiinnitetty perustuksiin valmiiksi ennen elementtien asennusta. Perustus suunnitelmat laatii erillinen perustussuunnittelija. Alapohjan u-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Seinäelementin u-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Elementin sisäpinnassa on 13 mm:n kipsilevy, jonka ulkopuolella rungon/eristeen ja kipsilevyn välissä on höyryn-sulkumuovi. Runkona toimii sahatavara $42 \times 197 \text{ mm}$, jonka ulkopuolelle kiinnitetään $48 \times 48 \text{ mm}$:n vaakakoolaus. Koolaukseen kiinnitetään 9 mm:n tuulensuojalevy, jonka ulkopuolella ovat ilmarako- ja naulausrimat.

Ulkooverhouksena toimii UTV 23x145 mm:n lauta soveltuvin osin pysty- ja vaakasuunnassa. Ensimmäisen kerroksen ulkoseinän aukkopalkkina toimii sahatavara 63x197 mm, 1800 mm leveiden ikkunoiden päälle tulee 63x197 mm:n lisäpalkki. Yläkerran seinässä 48x48 mm:n vaakakoolaus on rungon sisäpuolella ja se asennetaan elementin asennuksen jälkeen. Kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkkina toimii sahatavara 60x148 mm. Kyseisen palkin mitoitus on esitetty mallilaskelmassa (Liite 1).

Välipohjapalkkeina toimivat PRT-Lami Oy:n 45x70x300 mm:n I-profiilipalkit. Palkkien aukkojen puolivälissä kulkee poikittaisjäykistelinja, joka muodostuu vastaavista I-palkeista, niin sanotuista arinapalkeista. Palkiston alapuolen koolauksena toimii 21x95 mm:n laudoitus 400 mm:n jaolla. Koolauksen alapuolella on ensimmäisen kerroksen kattopinnoite tai vaihtoehtoisesti paneeli. Palkkien yläpuolella ovat raakaponttilaudoitus, kaksinkertainen 13 mm:n kipsilevytys sekä vaihteleva lattiapinnoite. Palkiston alareunassa on 70 mm:n ääneneristyskerros.

Vesikattomateriaalina kohteessa on tiilikate. Tiilikatteen alla ovat 48x48 mm:n ruoteet, 22 mm:n ilmarakorimat, aluskate sekä 70 mm:n tuuletusväli. Vinon katon osalle asennetaan 12 mm:n tuulensuojalevy. Yläpohjan primäärikannattajana toimii kurkihirsi (liimapuupalkki 450x90 mm). Sekundäärikannattajina yläpohjassa toimivat I-palkit. Palkkien välissä on 415 mm lämmöneristettä. Palkiston sisäpuolella on 48x48 mm:n vaakakoolaus sekä 50 mm lämmöneristettä. Sisäkattomateriaalina käytetään joko sisäverhouslevyä tai paneelia. Yläpohjan u-arvo on 0,085 W/m²K.

Ulko-ovien u-arvo on joko 0,9 W/m²K tai 1,0 W/m²K. U-arvo riippuu siitä, onko ovi lasiaukollinen vai ei. Ikkunoiden u-arvo on 1,0 W/m²K.

4.2 Kohteen kuormat

Kuormat esitetään pistekuormana, viivakuormana tai neliökuormana. Esimerkissä esitetään sekä pysyvien että muuttuvien kuormien muodostuminen sekä eurokoodin kuormitusyhdistelyt sekä niiden muuttuvat kertoimet.

Monimutkaiset laskelmat on suositeltu tehtäväksi Finnwood-puurakenteiden mitoitusohjelmalla. Ohjelmalla on myös hyvä tarkistaa käsin tehdyt laskelmat. Yläpohjan kattorakenne on liian vaikea käsin laskettavaksi, joten sen kuormien laskemiseen suositellaan käytettäväksi QSE-staatiikkaohjelmaa tai vastaavaa.

Välipohjarakenteen omapaino on $0,7 \text{ kN/m}^2$. Lisäksi omapainoon lasketaan mukaan kantamattomat kevyet väliseinät, joiden omapaino voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormana. Kevyiden väliseinien arvona tulee tällöin käyttää vähintään arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$. Välipohjarakenteen laskennallinen omapaino on tällöin $g_k=1,0 \text{ kN/m}^2$. Hyötykuormana asuintiloissa käytetään arvoa $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$. Välipohjan kuormitukset siirtyvät perustuksille välipohjapalkkien, teräspilareiden, liimapuupalkkien sekä ulkoseinien että kantavien väliseinien kautta. Välipohjapalkin mitoitus on toinen mallilaskelman (Liite 1) mitoitettava palkki. (RIL 205-1-2007. 31,32.)

Yläpohjan omapaino on $g_k=0,9 \text{ kN/m}^2$. Katolla olevana ominaislumikuormana tässä kohteessa käytetään arvoa $q_k=1,75 \text{ kN/m}^2$. Arvo muodostuu paikkakunnan ja kattokaltevuuden mukaan. Lumikuorman laskenta esitetään mallilaskelmassa (Liite 1).

4.3 Palkin mitoitus

Mallilaskelmassa oleva kattorakennetta kantava ulkoseinän aukkopalkki on koko seinän mittainen ja välipohjapalkki kaksiaukkoinen eli molemmat palkit ovat niin sanottuja jatkuvia palkkeja. Laskelmassa välipohjapalkin oletetaan olevan yksiaukkoinen yksinkertaistuksen vuoksi. Tällöin tulokset jäävät varmemmalle puolelle, koska jatkuvuus vähentää esimerkiksi palkin taipumaa. Mallilaskelmassa kiinnitetään laskennallisesti huomiota seuraaviin asioihin:

Suunnittelijan tulee varmistaa, ettei laskennallista taivutuslujuutta ylitetä. Taivutusjännitysmitoitus tehdään murtorajatilassa. Mitoitusehto täyttyy, kun todetaan, että $\delta_{m,d} \leq f_{m,d}$.

Kokovaikutuksen huomiointi kasvattaa taivutuslujuutta. Koko huomioidaan kertoimella k_h , joka lasketaan kaavalla 7.

$$k_h = \min \begin{cases} (150/h)^{0,2} \\ 1,3 \end{cases} \quad (\text{sahatavaralle}) \quad (\text{RIL 205-1-2007. 46}) \quad \text{KAAVA 7}$$

Laskennallinen leikkauslujuus ei saa ylittyä. Leikkausmitoitus tehdään murtorajatilassa. Mitoitusehto täyttyy, kun todetaan, että $\tau_d \leq f_{v,d}$.

Tukipaine eli syitä vastaan kohtisuora laskentapuristuslujuus ei saa ylittyä. Tukipainemitoitus tehdään murtorajatilassa. Tukipainemitoituksen päivitetty versio löytyy RIL 205-1-2009 kohdasta 6.2.2. Mitoitusehto täyttyy, kun todetaan, että: $\sigma_{c,90,d} < k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}$.

Palkki ei saa päästä kiepahtamaan taivutuksen yhteydessä. Kiepahdusmitoituksessa verrataan palkin tehollista tukileveyttä palkin tuentaan. Kiepahdusmitoitus tehdään murtorajatilassa.

Palkin taipuma ei saa ylittää rakenneosalle sallittua taipumaa. Taipumalle lasketaan aluksi 1kN:n aiheuttama referenssitaiipuma w_{ref} , jolla kerrotaan erikseen rakenteen omapainon kuorma ja hyötykuorma. Näin saadaan hetkelliset taipumat ($w_{G,inst}$ ja $w_{Q,inst}$) molemmista kuormista. Lopulliset taipumat ($w_{G,fin}$ ja $w_{Q,fin}$) saadaan, kun hetkelliset taipumat kerrotaan virumaluvulla. Taipuma lasketaan käyttörajatilassa.

Palkin värähtely ei ole haitallinen (lattiarakenteessa). Värähtelymitoituksessa oletetaan, että rakenteen maksimitaipuma on 0,5 mm. Sallittua taipumaa voidaan korottaa kertoimella k . Lattian ominaistaajuuden tulee olla alle 9 Hz, jotta yksinkertainen värähtelymitoitus voidaan tehdä. Värähtelymitoitus tehdään käyttörajatilassa. (RIL 205-1-2007. 91.) Värähtelyn tarkastelu ei ole välttämätöntä, mutta asiakkaan sitä halutessa se täytyy esittää. Värähtely ei vaikuta turvallisuuteen, joten sitä tästä syystä normi ei sitä vaadi. Asumismukavuuteen värähtely kuitenkin vaikuttaa. (STEP 1. B3/1; RIL 205-1-2007. 12.)

5 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tehtiin mallilaskelma eurokoodin mukaiseen puupalkin mitoittamiseen. Laskelma tehtiin esimerkkikohteen avulla. Esimerkkikohte oli Kangasalle rakennettava 1,5-kerroksinen Lapli-omakotitalo. Mallilaskelma pitää sisällään kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkin ja välipohjapalkin mitoittamisen. Esimerkki tehtiin Lapli-Talot Oy:n rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Mallilaskelmaa tulee käyttää rinnakkain Finnwood-puurakenteiden mitoitushjelman sekä RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen kanssa.

Mallilaskelmaa tehdessä huomattiin, että kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkin määräävä mitoitustekijä oli leikkausmitoitus. Uuden päivityksen mukaan palkki ei kestänyt leikkausmitoitusta ilman kosteuden siirtymistä estävää pintakäsittelyä.

Välipohjapalkkina toimivan I-palkin kestävydessä ei ollut ongelmia lukuun ottamatta eurokoodin mukaista saumaleikkausmitoitusta, jota palkki ei täyttänyt. Kohteen välipohjarakenne ei ole eurokoodin lyhennetyin ohjeen ja siinä esitetyn värähtelymitoituksen mukainen, joten rakenne ei täysin vastaa esitettyä värähtelymitoitusta. Mallilaskelmassa esitettiin ohjeiden mukaisen välipohjarakenteen värähtelymitoitus. Värähtelymitoitus ei kuitenkaan ole pakollinen.

Kattorakenteen omapainon ja hyötykuorman ulkoseinille ja kurkihirrelle aiheuttamat tukireaktiot laskettiin QSE-staatiikkaohjelmalla rakenteen monimutkaisuuden vuoksi. Kitapuurakenteen ansiosta ulkoseinille tuleva tukireaktio pieneni yllättävänkin paljon ja kuorma kerääntyi kurkihirrelle. Tämä johtui siitä, että kattopalkit ja kitapuu muodostavat jäykän kolmion kattorakenteen yläosaan.

LÄHTEET

Eurokoodi help desk. 2010. Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi/index.htm>.
Hakupäivä 23.9.2010.

I-palkkirakenteiden suunnittelu. 2010. Saatavissa:
<http://www.prtlami.fi/files/suunn.opas05.pdf>. Hakupäivä 20.09.2010.

Kevarinmäki, Ari 2009. Päivitykset RIL 205-1-2007 ohjeen 2. korjattuun painokseen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Kilpinen, Pekka 2010. T513006 Puurakenteet 2. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kilpinen, Pekka 2011. T512903 Puurakenteet 1. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

RIL 205-1-2007. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Seikkula, Seppo 2011. Suunnittelupäällikkö, Lappli-Talot Oy. Keskustelu 11.4.2011.

STEP 1. Puurakenteet. 1996. Tampere: Valtion teknillinen tutkimuskeskus & Rakennustieto Oy.

EUROKOODIN MUKAINEN PALKIN
MALLILASKELMA

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	3
2 RAKENNUKSEN ESITTELY	4
3 KUORMITUKSET	9
3.1 Välipohjan kuormat	9
3.2 Yläpohjan kuormat	9
4 ULKOSEINÄN AUKKOPALKIN MITOITUS	10
5 VÄLIPOHJAPALKIN MITOITUS	24

1 JOHDANTO

Tämän mallilaskelman tarkoitus on tutustuttaa Lapli-Talot Oy:n rakenne-suunnittelijat puurakenteisen omakotitalon eurokoodin mukaiseen palkin mitoitukseen. Laskelma sisältää kattorakennetta kantavan ulkoseinän aukkopalkin ja välipohjapalkin mitoitukset. Laskelma laaditaan esimerkkikohteen avulla.

Palkkien mitoitukset on tehty eurokoodin mukaisesti. Laskennat on tehty käsilaskentana ja niiden tarkistamiseen ja rasiusten selvittämiseen on käytetty Finnwood-puurakenteiden mitoitushjelmaa sekä QSE-staatiikkaohjelmaa. Tämä mallilaskelma on RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen mukainen. Työssä otetaan huomioon myös RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje, jossa on päivitetty versio muun muassa tukipainemitoituksesta. Uusien päivitysten tullessa tulee käyttäjän päivittää laskelma niiden mukaisiksi.

Tätä mallilaskelmaa tulee käyttää yhdessä RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohjeen kanssa. On suositeltavaa, että rakenteiden mitoitus tehdään sekä käsilaskennalla että Finnwood-mitotushjelmalla. Monimutkaiset laskelmat suositellaan ratkaistavaksi QSE-staatiikkaohjelmalla tai vastaavalla. Laskelmia ei saa suoraan kopioida mihinkään rakennuskohteeseen, vaan ne ovat esimerkkilaskelmia.

2 RAKENNUKSEN ESITTELY

Esimerkkikohteena on keväällä 2011 Kangasalle rakennettava 1,5-kerroksinen Lappli-omakotitalo. Malli on Lappli-Talot Oy:n perinnetalotmalliston Merikotka 166. Kohteeseen on tehty asiakkaan sekä paikallisen rakennusvalvonnan vaatimia muutoksia. Kohteen pohjapiirustukset, leikkaus A-A esitetään kuvissa 1, 2 ja 3. Yläpohjarakenteen, välipohjarakenteen sekä ulkoseinän rakennetyypit esitetään kuvassa 4.

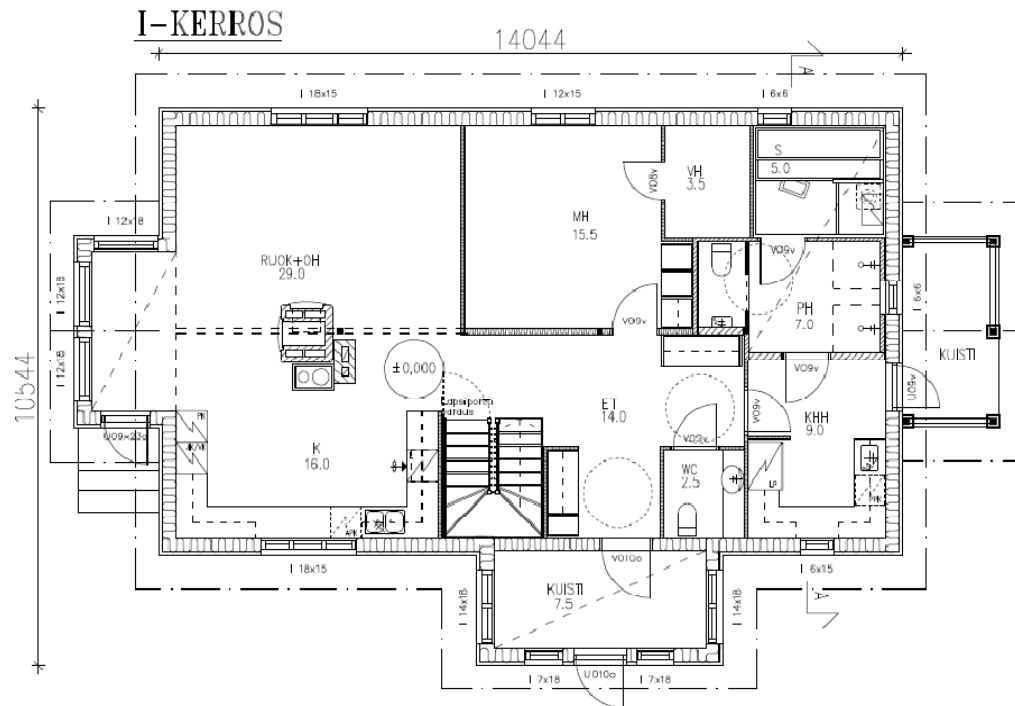
Perustuksen yläpinta on korossa ± 0.000 . Seinäelementin alapinta lähtee samasta korosta. Elementit kiinnitetään perustuksiin alaohjauspuulla, joka on kiinnitetty perustuksiin valmiiksi ennen elementtien asennusta. Perustussuunnitelmat laatii erillinen perustussuunnittelija. Alapohjan u-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Seinäelementin u-arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Elementin sisäpinnassa on 13 mm:n kipsilevy, jonka ulkopuolella rungon/eristeen ja kipsilevyn välissä on höyrynsulkumuovi. Runkona toimii sahatavara $42 \times 197 \text{ mm}$, jonka ulkopuolelle kiinnitetään $48 \times 48 \text{ mm}$:n vaakakoolaus. Koolaukseen kiinnitetään 9 mm:n tuulensuojalevy, jonka ulkopuolella ovat ilmarako- ja naulausrimat. Ulkoverhouksena toimii UTV $23 \times 145 \text{ mm}$:n lauta soveltuvien osien pysty- ja vaakasuunnassa. Ensimmäisen kerroksen ulkoseinän ikkunanylityspalkkina toimii sahatavara $63 \times 197 \text{ mm}$. 1800 mm leveiden ikkunoiden päälle tulee $63 \times 197 \text{ mm}$:n lisäpalkki. Yläkerran seinässä $48 \times 48 \text{ mm}$:n koolaus on rungon sisäpuolella ja se asennetaan elementin asennuksen jälkeen. Yläkerran seinän kattopalkkien kannatuspalkkina toimii sahatavara $60 \times 148 \text{ mm}$. Kyseisen palkin mitoitus on esitetty mallilaskelmassa (Liite 1).

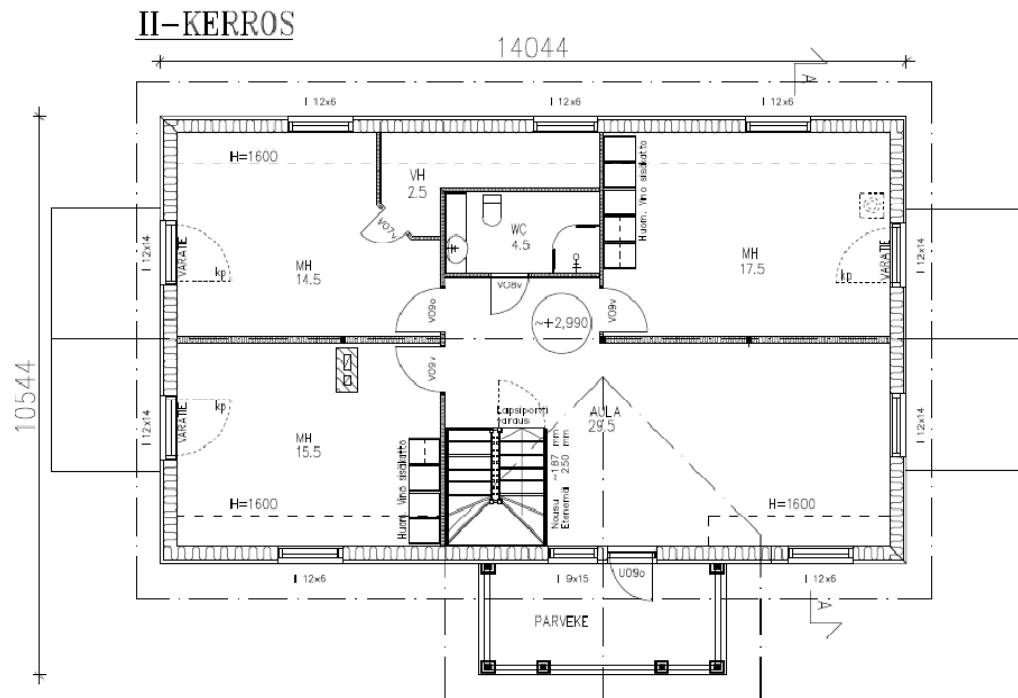
Välipohjapalkkeina esimerkkikohteessa toimivat PRT-Lami Oy:n $45 \times 70 \times 300 \text{ mm}$:n I-profiilipalkit. Palkkien aukkojen puolivälissä kulkee poikittaisjäykiste-linja, joka muodostuu vastaavista I-palkeista, ns. arinapalkeista. Palkiston alapuolen koolauksena toimii $21 \times 95 \text{ mm}$:n laudoitus 400 mm :n jaolla. Koolauksen alapuolella on ensimmäisen kerroksen kattopinnoite tai vaihtoehtoisesti paneeli. Palkkien yläpuolella ovat raakaponttilaudoitus, kaksinkertainen

13 mm:n kipsilevytys sekä vaihteleva lattiapinnoite. Palkiston alareunassa on 70 mm:n ääneneristyskerros.

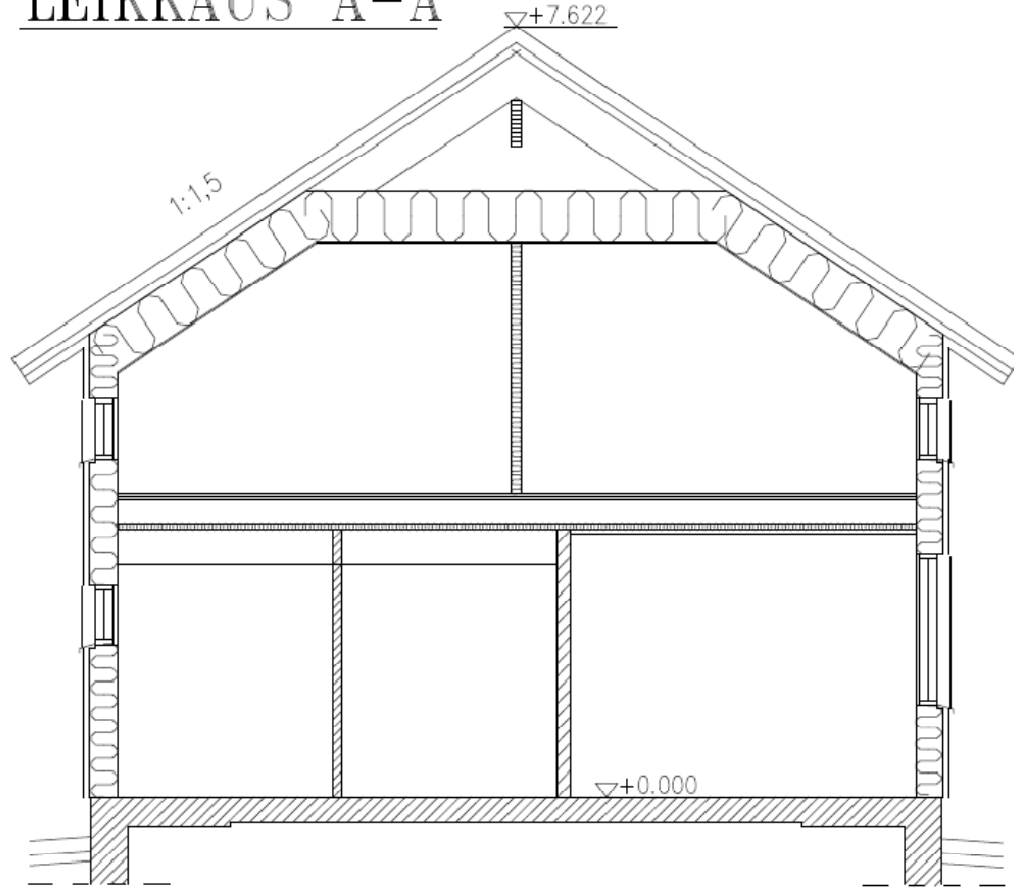
Vesikattomateriaalina kohteessa on tiilikate. Tiilikatteen alla ovat 48x48 mm:n ruoteet, 22 mm:n ilmarakorimat, aluskate sekä 70 mm:n tuuletusväli. Vinon katon osalle asennetaan 12 mm:n tuulensuojalevy. Yläpohjan primäärikannattajana toimii kurkihirsi (liimapuupalkki 450mmx90mm). Sekundäärikannattajina yläpohjassa toimivat I-palkit. Palkkien välissä on 415 mm lämmöneristettä. Palkiston sisäpuolella on 48x48 mm:n vaakakoolaus sekä 50 mm lämmöneristettä. Sisäpintamateriaalina käytetään sisäverhouslevyä tai paneelia. Yläpohjan u-arvo on 0,085 W/m²K.



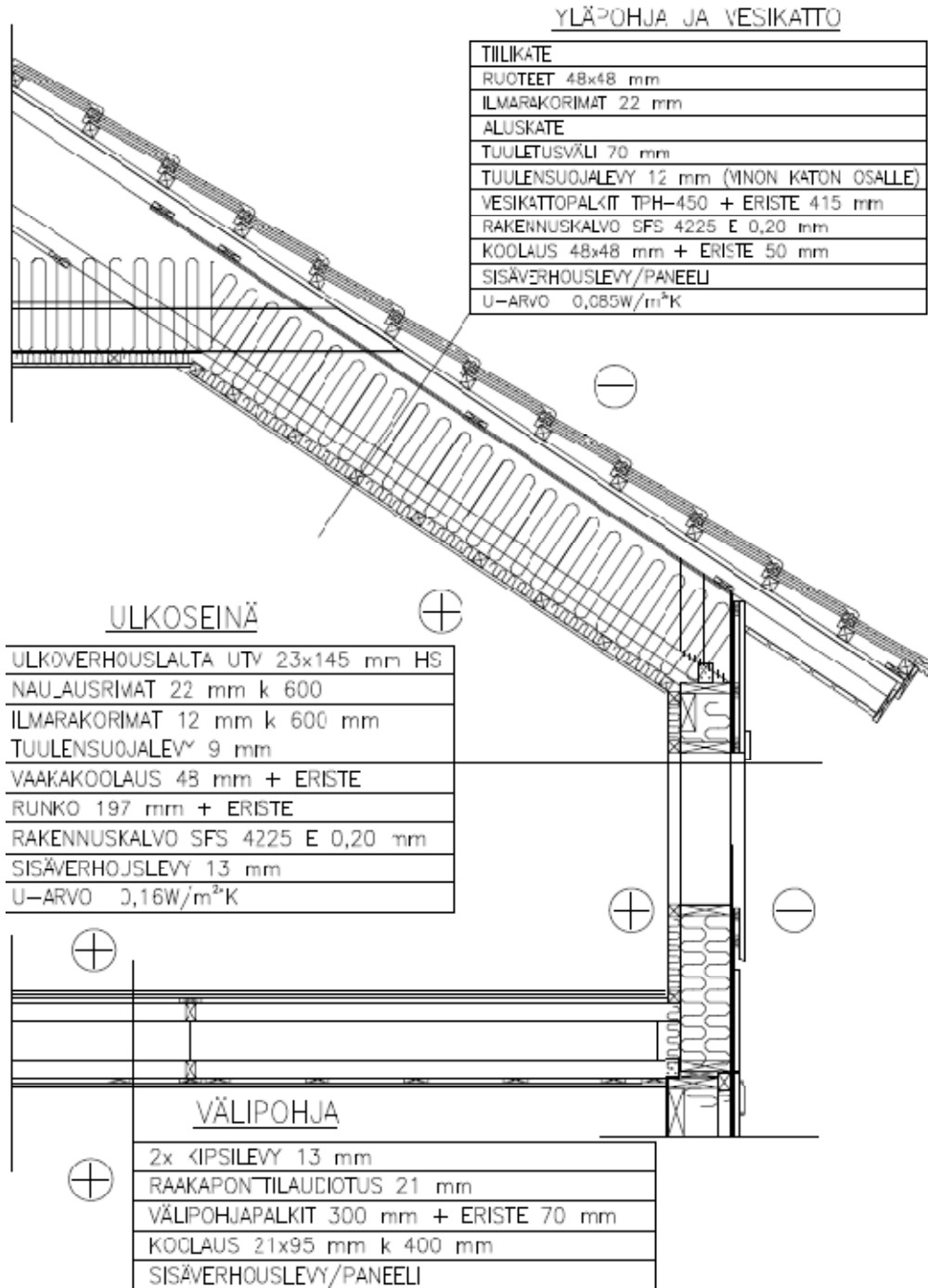
KUVA 1. Esimerkkikohteen 1. kerroksen pohjapiirustus



KUVA 2. Esimerkkikohteen 2. kerroksen pohjapiirustus

LEIKKAUS A-A

KUVA 3. Rakennuksen leikkaus A-A



KUVA 4. Yläpohjan, yläkerran ulkoseinän ja välipohjan rakennetyypit

3 KUORMITUKSET

3.1 Välipohjan kuormat

Välipohjarakenteen omapaino on $0,7 \text{ kN/m}^2$. Lisäksi omapainoon lasketaan mukaan kantamattomat kevyet väliseinät, joiden omapaino voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormana. Kevyiden väliseinien arvona tulee tällöin käyttää vähintään arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$. Välipohjarakenteen laskennalliseksi omapainoksi muodostuu tällöin $g_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$. Hyötykuormana asuintiloissa käytetään arvoa $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$. Välipohjan kuormitukset siirtyvät perustuksille välipohjapalkkien, teräspilareiden, liimapuupalkkien sekä ulkoseinien että kantavien väliseinien kautta. (RIL 205-1-2007. 31,32.)

3.2 Yläpohjan kuormat

Yläpohjan kuormat koostuvat yläpohjan omapainosta ja lumikuormasta. Kohteen yläpohjan omapaino on $0,9 \text{ kN/m}^2$. Kohde sijaitsee Kangasalalla, jossa maassa olevan lumikuorman ominaisarvo on $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ (RIL 205-1-2007. 33). Katon kaltevuus on $33,7^\circ$. Kun katon kaltevuus on välillä ($30^\circ < \alpha < 60^\circ$), muotokerroin μ lasketaan kaavalla:

$$\mu = 0,8 \cdot (60^\circ - \alpha) / 30^\circ = 0,8 \cdot (60^\circ - 33,7^\circ) / 30^\circ = 0,70$$

tällöin ominaislumikuorma katolla on

$$s = \mu \cdot s_k = 0,70 \cdot 2,5 \text{ kN} / \text{m}^2 = 1,75 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Kattopalkkijako $k = 900 \text{ mm}$

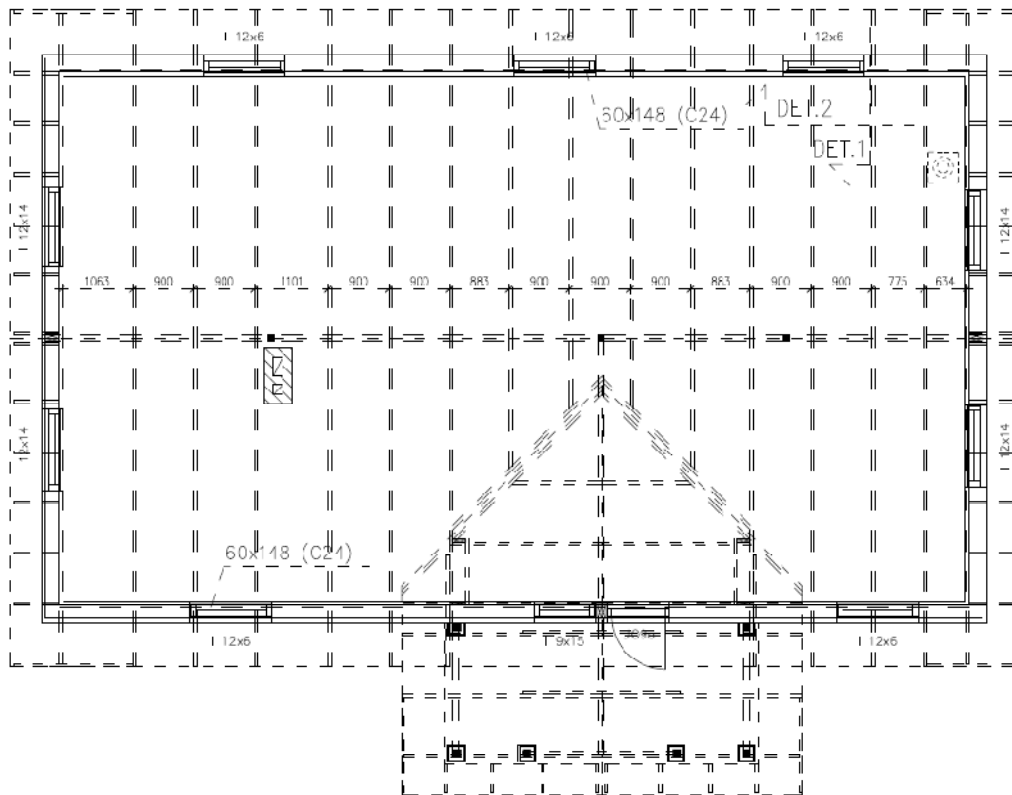
$$\rightarrow \text{lumikuorma kattopalkin juoksumetrille } Q_k = 0,9 \text{ m} \cdot 1,75 \text{ kN} / \text{m}^2 = 1,58 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\rightarrow \text{kattorakenteen omapaino juoksumetrille } G_k = 0,9 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ kN} / \text{m}^2 = 0,81 \text{ kN} / \text{m}$$

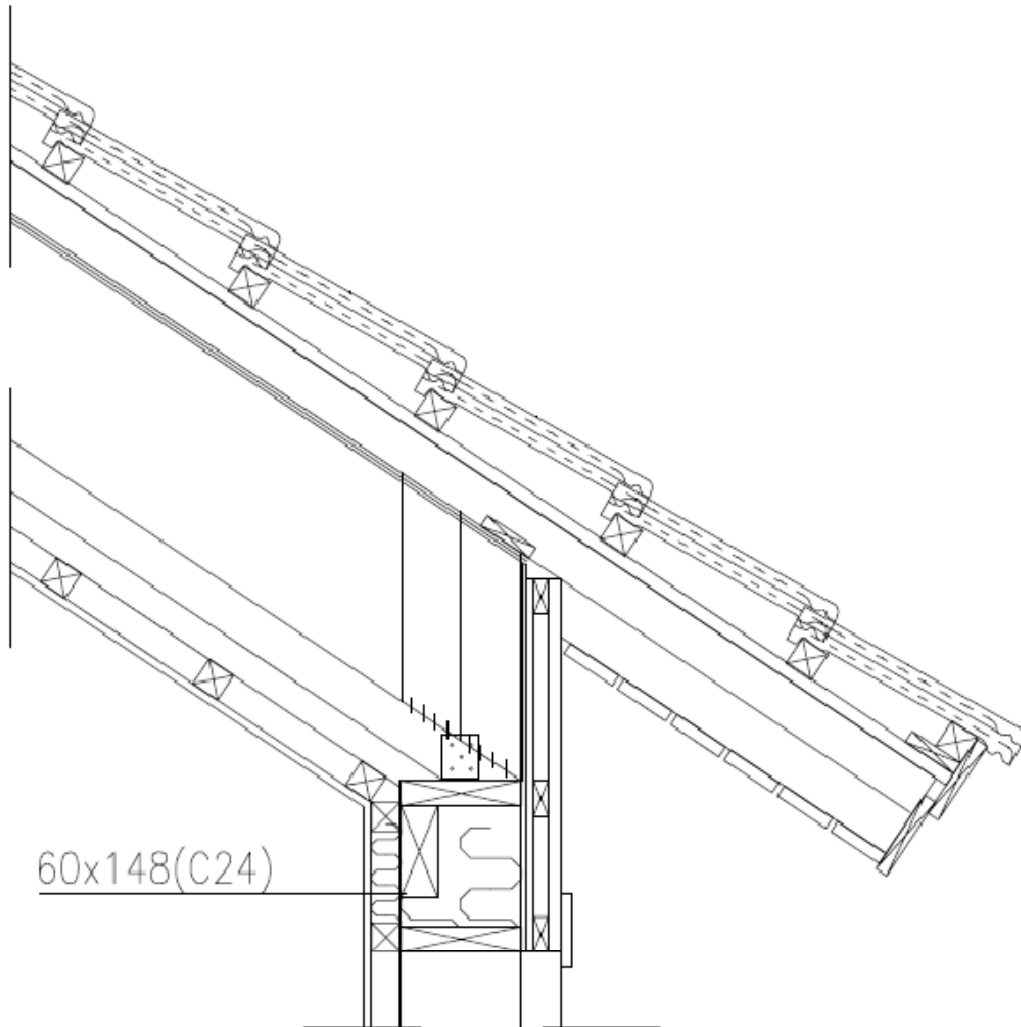
4 ULKOSEINÄN AUKKOPALKIN MITOITUS

Perustietoja

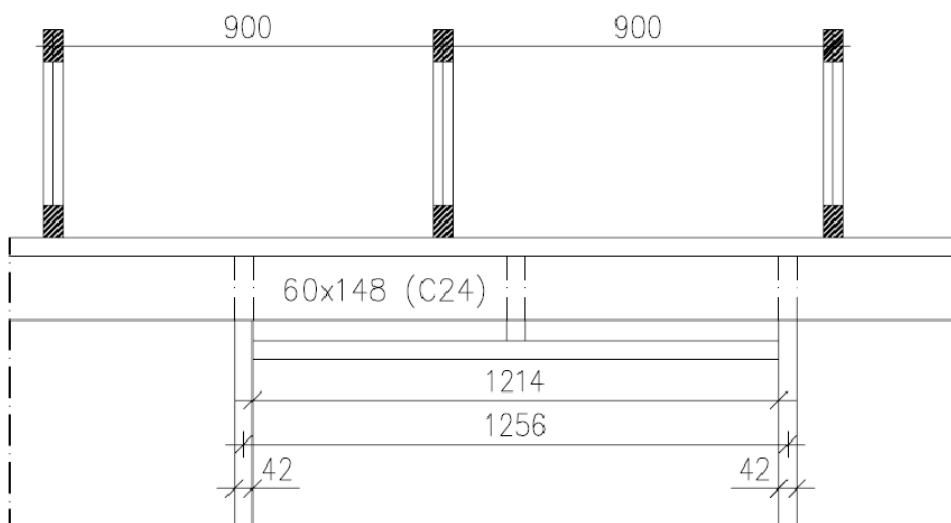
Kattopalkit kannatetaan ulkoseinän yläohjauspuun alapuolella olevalla aukkopalkilla 60x148 (C24) (kuva 5). Palkki lovetaan runkotolppiin (kuva 6). Pistekuormat sijoitetaan aina tietyn mitoituksen vaarallisimpaan kohtaan. Muutoin jokainen ikkuna, jonka aukkopalkki ylittää, tulisi tarkastella erikseen. Kuvassa 7 on esitetty detaljileikkaus 2.



KUVA 5. Katon kantavat rakenteet



KUVA 6. Det. 1



KUVA 7. Det. 2

Käyttöluokka: 1 (RIL 205-1-2007. 30)

Aikaluokka: Pysyvä/Keskipitkä (RIL 205-1-2007. 30)

Seuraamusluokka: CC2 → $K_{FI}=1,0$ (RIL 205-1-2007. 26)

Kuormitustapaukset:

Harjakatoilla tulee tarkastella vähintään kahta kuormitustapausta. Toinen, jossa on täysi lumikuorma koko katon alalla, sekä toinen, jossa katon epäedullisemmalla puolella vaikuttaa vain puolet lumikuormasta. Kevytrakenteisillä rakenteilla määräävä kuormitustapaus kuitenkin on useasti kuormitustapaus, jossa on täysi lumikuorma koko katon alalla. Näin on tässäkin tapauksessa. Seuraavassa on esitetty kuormitustapausten laskenta molemmille kuormitustapauksille. Kuvassa 8 on esitetty määräävän kuormitustapausten kuormitus murtorajatilassa ja kuvissa 9 ja 10 käyttörajatilassa erikseen omapainon kuormitukselle ja lumikuormalle.

Kuormitustapaus 1. Murtorajatila (MRT)

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k \quad \text{keskipitkä aikaluokka}$$

$$1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,58 \text{ kN/m} = 3,30 \text{ kN/m}$$

$$1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_k \quad \text{pysyvä aikaluokka}$$

$$1,35 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN/m} = 1,09 \text{ kN/m}$$

Kuormitustapaus 2. Murtorajatila (MRT)

Täyden lumikuorman rasittamalla lappeella:

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k \quad \text{keskipitkä aikaluokka}$$

$$1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN} / \text{m} + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,58 \text{ kN} / \text{m} = 3,30 \text{ kN} / \text{m}$$

$$1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_k \quad \text{pysyvä aikaluokka}$$

$$1,35 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN} / \text{m} = 1,09 \text{ kN} / \text{m}$$

Puolen lumikuorman rasittamalla lappeella:

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_k + 1,5 \cdot 0,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_k \quad \text{keskipitkä aikaluokka}$$

$$1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN} / \text{m} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,58 \text{ kN} / \text{m} = 2,12 \text{ kN} / \text{m}$$

$$1,35 \cdot K_{FI} \cdot G_k \quad \text{pysyvä aikaluokka}$$

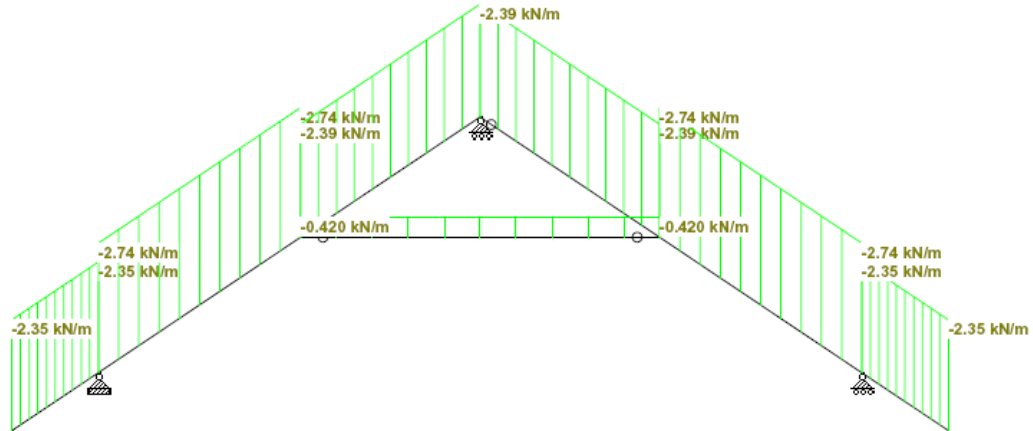
$$1,35 \cdot 1,0 \cdot 0,81 \text{ kN} / \text{m} = 1,09 \text{ kN} / \text{m}$$

Määräävä kuormitustapaus on KT1 ja aikaluokka keskipitkä. Kuorma on käännetty QSE-statiikkaohjelmassa kattorakenteen suuntaiseksi.
 $3,30 \text{ kN} / \text{m} \cdot \cos 33.7^\circ = 2,74 \text{ kN} / \text{m}$ (kuva 8).

Kattopalkin tukireaktio murtorajatilassa:

Kattopalkin tukireaktio on liian monimutkainen käsin ratkaistavaksi, joten tukireaktio saadaan QSE-statiikkaohjelmasta:

$$\text{Pistekuorma } F = 6,32 \text{ kN}$$



KUVA 8. Kattorakenteen kuormitus murtorajatilassa

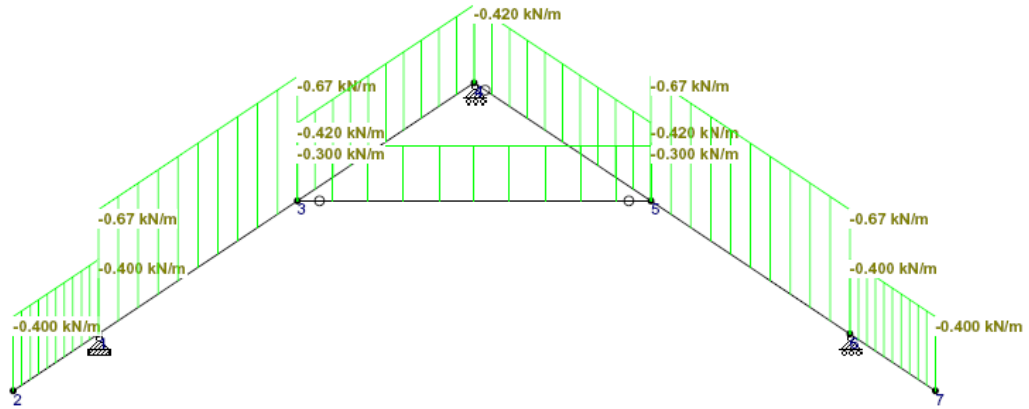
Kattopalkin tukireaktiot käyttörajatilassa:

Kattopalkin tukireaktio kattorakenteen omapainosta saadaan QSE-staatiikkaohjelmasta. Kuorma on käännetty ohjelmassa kattorakenteen suuntaiseksi. $0,81 \text{ kN} / \text{m} \cdot \cos 33,7^\circ = 0,67 \text{ kN} / \text{m}$ (kuva 9).

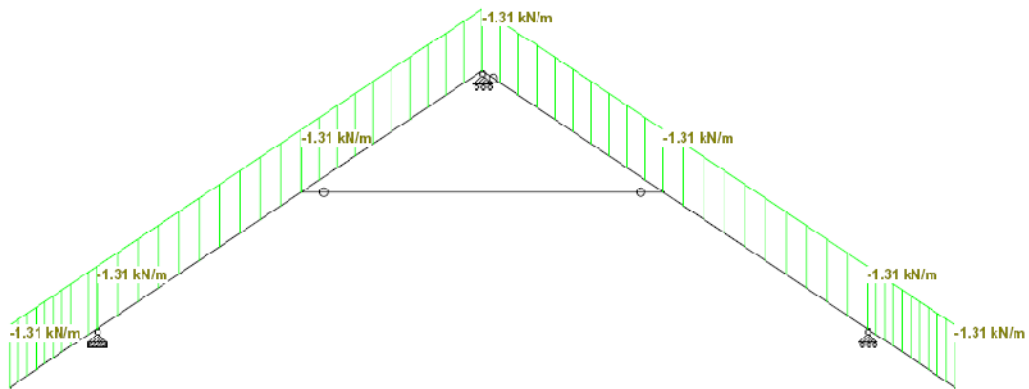
Pistekuorma $F_G = 1,33 \text{ kN}$

Kattopalkin tukireaktio kattorakenteen omapainosta saadaan QSE-laskentaohjelmasta. Kuorma on käännetty QSE-laskentaohjelmassa kattorakenteen suuntaiseksi. $1,58 \text{ kN} / \text{m} \cdot \cos 33,7^\circ = 1,31 \text{ kN} / \text{m}$ (kuva 10).

Pistekuorma $F_Q = 3,26 \text{ kN}$



Kuva 9. Kattorakenteen omapainon kuormitus käyttörajatilassa



KUVA 10. Lumikuorman aiheuttama kuormitus käyttörajatilassa

Materiaaliominaisuudet: (RIL 205-1-2007. 47)

Sahatavara 60x148 (C24):

$f_{m,k} = 24 \text{ N} / \text{mm}^2$ Taivutus syrjällään

$f_{v,k} = 2,5 \text{ N} / \text{mm}^2$ Leikkaus syrjällään

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N} / \text{mm}^2$ Puristus poikittain syrjällään

$E_{mean} = 11000 \text{ N} / \text{mm}^2$ Kimmomoduuli

$$G_{mean} = 690 N / mm^2$$

Liukumoduuli

$$\gamma_M = 1,4 N / mm^2$$

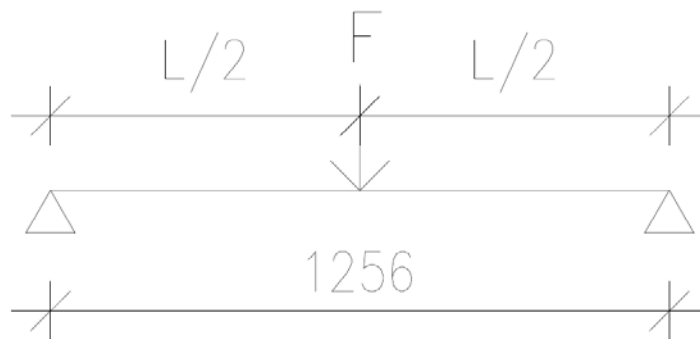
Materiaalin osavarmuusluku

$$k_{mod} = 0,8$$

Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen
muunnoskerroin (RIL 205-1-2007. 45)

Taivutusmitoitus (MRT):

Taivutusmitoituksessa verrataan murtorajatilan taivutusjännitystä materiaalin mitoitustaivutuslujuuteen. "Vaarallisin" taivutusmitoituksen arvo saadaan, kun pistekuorma F sijoitetaan keskelle aukkoa (kuva11).



KUVA 11. Palkin laskentamalli taivutusmitoituksessa

Kuormitus: $F = 6,32 kN$

$$M_{d \max} = \frac{FL}{4} = \frac{6,32 kN \cdot 1,256 m}{4} = 1,98 kNm$$

Palkin ominaisuudet (60x148 (C24)):

$$f_{m,d} = k_h \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot \frac{24 N / mm^2}{1,4} = 13,71 N / mm^2$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{60\text{mm} \cdot (148\text{mm})^2}{6} = 219040\text{mm}^3$$

Mitoitusehto:

$$\delta_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$\delta_{m,d} = \frac{M_{d\max}}{W} = \frac{1980000\text{Nmm}}{219040\text{mm}^3} = 9,04\text{N/mm}^2 < 13,71\text{N/mm}^2 \text{ (66\%)}$$

Kokovaikutuksen huomiointi kasvattaa taivutuslujuutta

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} (150/h)^{0,2} \\ 1,3 \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ 1,3 \end{array} \right. = 1,00$$

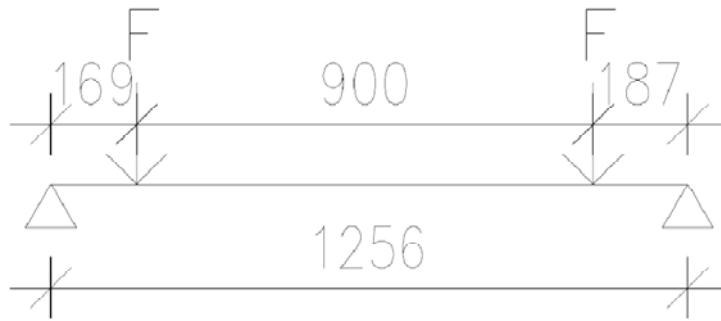
Palkin korkeus on miltei rajakorkeudessa, joten se ei kasvata taivutuslujuutta.

Palkki 60x148 (C24) kestää taivutusjännityksen.

Leikkausmitoitus (MRT): (RIL 205-1-2007. 69)

Leikkausmitoituksen "vaarallisin" arvo saadaan kun sijoitetaan pistekuorma F enintään palkin korkeuden päähän tuelta (kuva 12). Tuen leveys $l_A = 42\text{mm}$

$$\text{Pistekuorman etäisyys (laskentamallissa): } 148\text{mm} + \frac{42\text{mm}}{2} = 169\text{mm}$$



KUVA 12. Palkin laskentamalli leikkausmitoituksessa

Leikkausvoima:

$$V_{d \max} = \left(\frac{1087}{1256} + \frac{187}{1256} \right) \cdot 6,32 \text{ kN} = 6,41 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{2,5 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V_{d \max}}{A} = \frac{3}{2} \frac{6410 \text{ N}}{(60 \times 148) \text{ mm}^2} = 1,08 \text{ N/mm}^2 = 1,43 \text{ N/mm}^2 (76\%)$$

Palkki 60x148 (C24) kestää leikkausjännityksen.

HUOM!

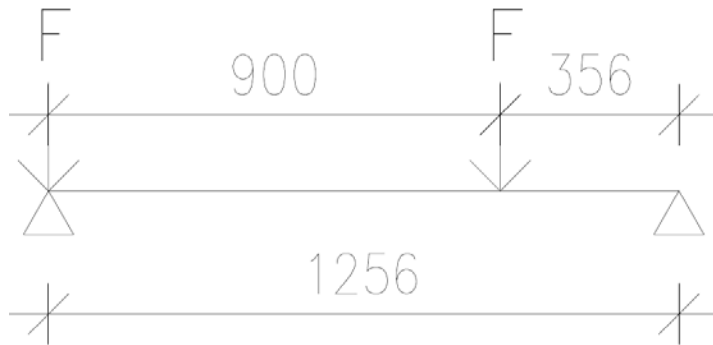
RIL 205-1-2009 päivityksen mukaan käyttöluokkaan 1 kuuluvien sahatavara- ja liimapuupalkkien leikkausmitoituksessa käytetään kertoimella 0,67 pienennettyä leveyttä ($b_{\text{ef}} = 0,67b$). Kerrointa $1,0b$ käytetään kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä käsitellylle puulle, standardoiduille puutuotteille sekä pysyvästi käyttöluokkaa 2 tai 3 vastaavissa olosuhteissa oleville palkeille. (RIL 205-1-2009. 6.1.5.)

$$\tau_d = \frac{3 V_{d \max}}{2 A} = \frac{3}{2} \frac{6510 N}{(0,67 \cdot 60 \cdot 148) \text{ mm}^2} = 1,1 N / \text{ mm}^2 = 1,64 N / \text{ mm}^2 (115\%)$$

Tässä tapauksessa palkki tulisi käsitellä kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä, jotta mitoitusehto täytyisi.

Tukipainemitoitus (MRT): (RIL 205-1-2009. 6.1.5; Kilpinen 2011)

Suurin poikittainen puristusrasitus saadaan kun laitetaan pistekuorma F tuen kohdalle (kuva 13).



KUVA 13. Palkin laskentamalli tukipainemitoituksessa

$$N_d = 6,32 kN + \left(\frac{1,256 m - 0,9 m}{1,256 m} \right) \cdot 6,32 kN = 8,11 kN$$

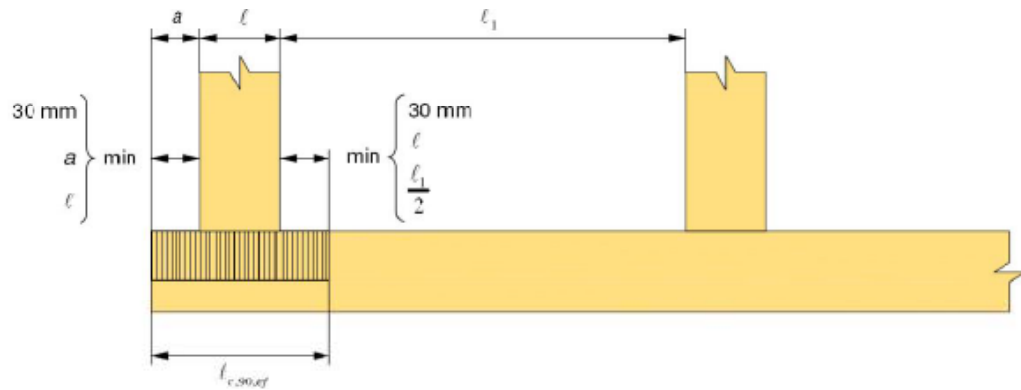
Tukipinta-ala: $A = 42 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} = 2520 \text{ mm}^2$

Tukipainekerroin: $k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90}$

l = kosketuspinnan pituus syiden suunnassa

$l_{c,90,ef}$ = tehollinen kosketuspinnan pituus

$k_{c,90}$ = kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus



KUVA 14. Tehollinen kosketuspinnan pituus (RIL 205-1-2009. 6.1.5)

Tukipainemitoituksessa palkki käsitellään jatkuvana niin kuin se oikeasti onkin. Tällöin teholliseen kosketuspintaan voidaan lisätä molemmille puolille 30 mm (kuva 14).

$$l_{c,90,ef} = 30\text{mm} + 42\text{mm} + 30\text{mm} = 102\text{mm}$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavaralla)}$$

$$k_{c,\perp} = \frac{102\text{mm}}{42\text{mm}} \cdot 1,25 = 3,04$$

$$k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = k_{c,\perp} \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 3,04 \cdot 0,8 \cdot \frac{2,5\text{N/mm}^2}{1,4} = 4,34\text{N/mm}^2$$

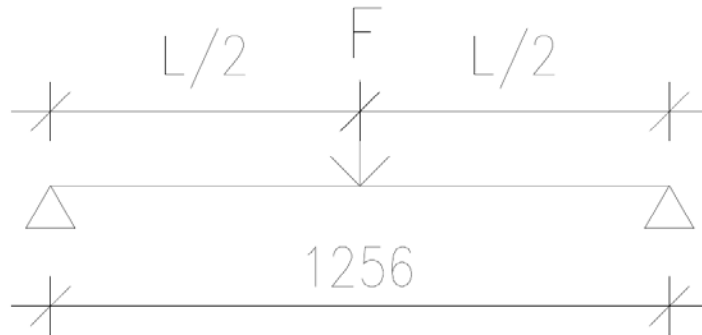
Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} < k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = \frac{N_{d\text{max}}}{A} = \frac{8110\text{N}}{2520\text{mm}^2} = 3,22\text{N/mm}^2 \text{ (74\%)}$$

Palkki 60x148 (C24) kestää tukipainerasituksen.

Kiepahdusmitoitus (MRT): (Kilpinen 2011)

Kiepahduksen vaarallisin arvo saadaan kun sijoitetaan pistekuorma F keskele aukkoa (kuva 15).



KUVA 15. Palkin laskentamalli kiepahdusmitoituksessa

Laskentamallin kiepahdustukiväli:

$$a = \frac{L}{2} = \frac{1256\text{mm}}{2} = 628\text{mm}$$

Palkin tehollinen pituus kiepahduksessa:

$$l_{ef} = a + 2h = 628\text{mm} + 2 \cdot 148\text{mm} = 924\text{mm}$$

Oletetaan, että kiepahdus ei vähennä palkin taivutuskestävyyttä:

$$k_{crit} = 1$$

Katsotaan käyrästä (RIL 205-1-2007. 77) riittääkö tuenta:

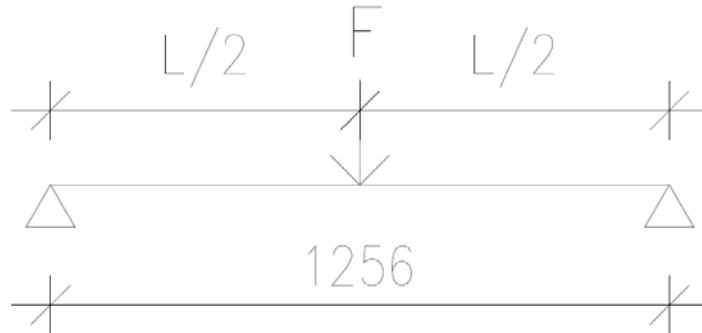
$$\frac{h}{b} = \frac{148}{60} = 2,47 \rightarrow \text{käyrä } h \cong 2,47b$$

$$\frac{l_{ef}}{b} = 50 \rightarrow l_{ef} = 50\text{mm} \cdot 60\text{mm} = 3000\text{mm} > 924\text{mm}$$

Tuenta riittää, joten palkki 60x148 (C24) ei kiepahda.

Taipumamitoitus (KRT): (Kilpinen 2011)

Taipuman suurin arvo saadaan, kun asetetaan pistevoima F keskelle aukkoa (kuva 16).



KUVA 16. Palkin laskentamalli taipumamitoituksessa

Kuormitus:

Pysyvä kuorma: $F_G = 1,32kN$

Muuttuva kuorma (lumikuorma): $F_Q = 3,26kN$

Virumaluku: $k_{def} = 0,6$ (RIL 205-1-2007. 46)

Yksikkökuorman aiheuttama referenssitaiipuma w_{ref} :

Huomioidaanko leikkausvoiman aiheuttama lisätaiipuma?

$$\frac{L}{h} = \frac{1256}{148} = 8,49 < 12 \rightarrow \text{huomioidaan}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(60mm \cdot 148mm)^3}{12} = 16208960mm^4$$

$$w_{ref} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E_{mean} \cdot I} + \frac{3 \cdot F \cdot L}{10 \cdot G_{mean} \cdot A}$$

$$w_{ref} = \frac{1000N \cdot (1256mm)^3}{48 \cdot 11000N/mm^2 \cdot 16208960mm^4} + \frac{3 \cdot 1000N \cdot 1256mm}{10 \cdot 690N/mm^2 \cdot 8880mm^2}$$

$$w_{ref} = 0,2315mm + 0,0615mm = 0,2930mm \left(\frac{mm}{kN} \right)$$

Hetkellinen taipuma omapainosta:

$$W_{G,inst} = w_{ref} \cdot F_G = 0,2930mm/kN \cdot 1,32kN = 0,3868mm$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{Q,inst} = w_{ref} \cdot F_Q = 0,2930mm/kN \cdot 3,26kN = 0,9552mm$$

Loppu taipuma omapainosta:

$$W_{G,fin} = W_{G,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,3868mm \cdot (1 + 0,6) = 0,6189mm$$

Loppu taipuma lumikuormasta:

$$W_{Q,fin} = W_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 0,9552mm \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,6) = 1,0698mm$$

$\psi_2 = 0,2$ = lumikuorman pitkäaikaisosuus (RIL 205-1-2007, 27)

Kokonaistaipuma:

$$W_{net,fin} = W_{G,fin} + W_{Q,fin} = 0,6189mm + 1,0698mm = 1,6887mm$$

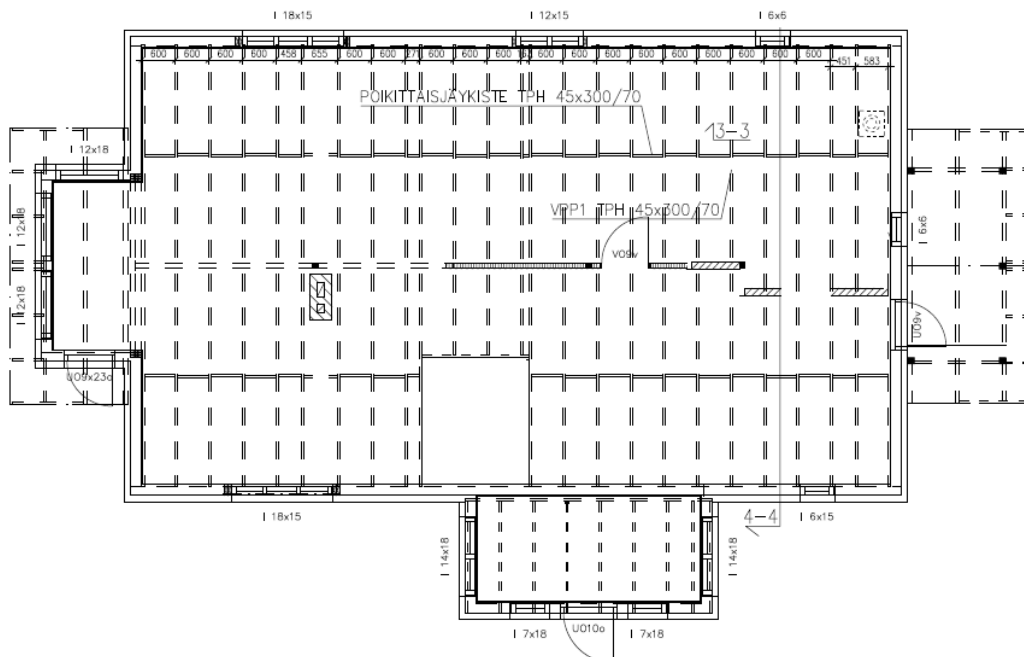
$$\frac{L}{300} = \frac{1256mm}{300} = 4,19mm > 1,6887mm(40\%)$$

Palkki 60x148 (C24) taipuu sallituissa rajoissa.

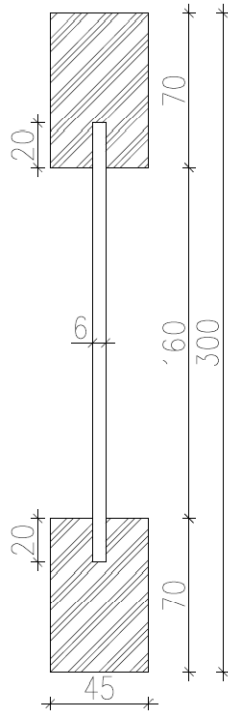
5 VÄLIPOHJAPALKIN MITOITUS

Perustietoja

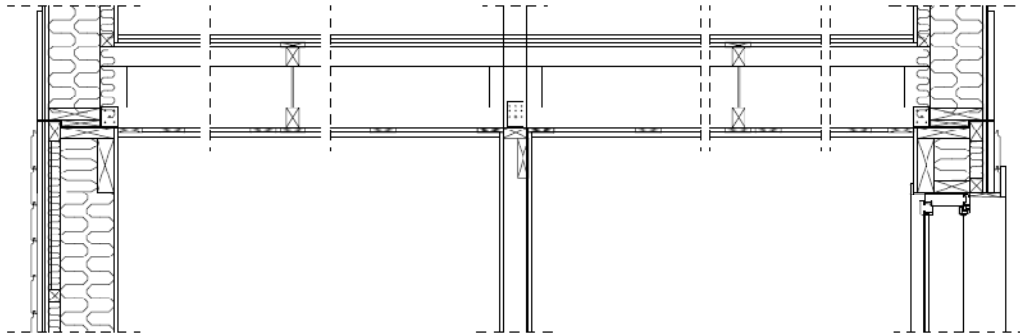
Välipohjapalkkeina esimerkkikohteessa toimivat PRT-Lami Oy:n I-palkit. I-palkin koko on 300x45x70 mm (kuva 18). Välipohjan kantavat rakenteet esitetään kuvassa 17. Välipohjarakenteen omapaino on $0,7 \text{ kN/m}^2$. Lisäksi omapainoon lasketaan mukaan kantamattomat kevyet väliseinät, joiden omapaino voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormana. Kevyiden väliseinien arvona tulee tällöin käyttää vähintään arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$. Välipohjarakenteen laskennallinen omapaino on tällöin $g_k=1,0 \text{ kN/m}^2$. Hyötykuormana asuintiloissa käytetään arvoa $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$. Välipohjan kuormitukset siirtyvät perustuksille välipohjapalkkien, teräspilareiden, liimapuupalkkien sekä ulko- että kantavien väliseinien kautta (kuva 19). Välipohjapalkki oletetaan laskelmissa kaksitukiseksi, jolloin lasku yksinkertaistuu ja tulokset jäävät varmemmalle puolelle (kuva 20). (RIL 205-1-2007. 31-32.)



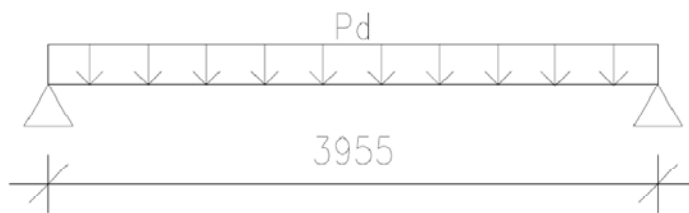
KUVA 17. Välipohjan kantavat rakenteet



KUVA 18. Leikkaus 3-3



KUVA 19. Leikkaus 4-4



KUVA 20. Välipohjapalkin laskentamalli

Käyttöluokka: 1 (RIL 205-1-2007. 30)

Aikaluokka: Pysyvä/Keskipitkä (RIL 205-1-2007. 30)

Seuraamusluokka: CC2 -> $K_{FI}=1,0$ (RIL 205-1-2007. 30)

Kuormitus:

Palkkijako: 600 mm

$G_k = 1,0kN / m^2$ pysyvä aikaluokka

$Q_k = 2,0kN / m^2$ keskipitkä aikaluokka

$$P_d = 0,6 \cdot (1,15 \cdot 1,0kN / m^2 + 1,5 \cdot 2,0kN / m^2) = 2,49kN / m$$

Voimasuureet:

$$M_{d \max} = \frac{P_d \cdot L^2}{8} = \frac{2,49kN / m \cdot (3,955m)^2}{8} = 4,87kNm$$

$$V_{d \max} = \frac{P_d \cdot L}{2} = \frac{2,49kN / m \cdot 3,955m}{2} = 4,92kN$$

$$(V_{dred} = V_{d \max} \cdot (1 - \frac{2 \cdot h + l_A}{l_1}) = 4,92kN \cdot (1 - \frac{2 \cdot 0,3m + 0,098m}{3,955m}) = 4,05kN)$$

Materiaaliominaisuudet:

I-palkin ylä- ja alaosassa olevat paarteet ovat sahatavaraa, lujuusluokkaa C24. Uumalevy on kovaa kuitulevyä. (I-palkkirakenteiden suunnittelu. 11)

Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin k_{mod} : (RIL 205-1-2007. 45)

C24: 0,8 (keskipitkä aikaluokka) tai 0,6 (pysyvä aikaluokka)

Kova kuitulevy: 0,65 (keskipitkä aikaluokka) tai 0,3 (pysyvä aikaluokka)

Virumaluku k_{def} : (RIL 205-1-2007. 46)

C24: 0,6

Kova kuitulevy: 2,25

Kimmomoduuli E_{mean} : (RIL 205-1-2007. 47,57)

C24: $E_{mean,f} = 11000N / mm^2$

Kova kuitulevy: $E_{mean,f} = 4600N / mm^2$

Kuorman keston ja kosteuden vaikutukset: (RIL 205-1-2007. 41; Kilpinen 2010)

Kun tarkastellaan käyttörajatiloja ja kun rakenne koostuu rakenneosista, joilla on erilaiset ajasta riippuvat ominaisuudet, lopputilassa vallitsevan muodonmuutostilan laskemiseen käytettävät kimmo- ja liukukertoimien lopputilan keskiarvot saadaan seuraavista kaavoista:

KRT:

$$E_{mean,fin,f} = \frac{E_{mean,f}}{(1 + k_{def})} = \frac{11000N / mm^2}{(1 + 0,6)} = 6875N / mm^2$$

$$E_{mean,fin,w} = \frac{E_{mean,w}}{(1 + k_{def})} = \frac{4600N / mm^2}{(1 + 2,25)} = 1415N / mm^2$$

$$G_{mean,fin,w} = \frac{G_{mean,w}}{(1 + k_{def})} = \frac{1900N / mm^2}{(1 + 2,25)} = 585N / mm^2$$

Indeksimerkintä f = flange = paarre

Indeksimerkintä w = waist = uuma

Kun murtorajatilassa rakenteen jäykköysjakauma vaikuttaa sauvojen voimasaureiden jakautumiseen, saadaan kimmo- ja liukukertoimen lopputilan keskiarvot seuraavista kaavoista:

MRT:

$$E_{mean,fin,f} = \frac{E_{mean,f}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} = \frac{11000N/mm^2}{(1 + 0,3 \cdot 0,6)} = 9322N/mm^2$$

$$E_{mean,fin,w} = \frac{E_{mean,w}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} = \frac{4600N/mm^2}{(1 + 0,3 \cdot 2,25)} = 2746N/mm^2$$

Ψ_2 Kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin sille muuttuvalle kuormalle, joka aiheuttaa lujuteen nähden suurimman jännityksen. Jos pysyvä kuorma aiheuttaa suurimman jännityksen, Ψ_2 korvataan arvolla 1. Kyseessä asuintila; $\Psi_2=0,3$ (RIL 205-1-2007. 27.)

Poikkileikkaussuuret:

$$A_f = 2 \cdot b_f \cdot h_f = 2 \cdot 45mm \cdot 70mm - 2 \cdot 6mm \cdot 20mm = 6060mm^2$$

$$A_w = b_w \cdot h_w = 6mm \cdot 200mm = 1200mm^2$$

$$I_f = \frac{b_f \cdot (h^3 - 160^3)}{12} = \frac{45mm \cdot ((300mm)^3 - (160mm)^3)}{12} = 85890000mm^4$$

$$I_w = \frac{b_w \cdot h_w^3}{12} = \frac{6mm \cdot (200mm)^3}{12} = 4000000mm^4$$

Alkutila:

$$A_{ef} = A_f + A_w \cdot \frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} = 6060mm^2 + 1200mm^2 \cdot \frac{4600N/mm^2}{11000N/mm^2} = 6562mm^2$$

$$I_{ef} = I_f + I_w \cdot \frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} = 85890000mm^4 + 4000000mm^4 \cdot \frac{4600N/mm^2}{11000N/mm^2} = 87562727mm^4$$

Lopputila:

$$A_{ef,fin} = A_f + A_w \cdot \frac{E_{mean,fin,w}}{E_{mean,fin,f}} = 6060mm^2 + 1200mm^2 \cdot \frac{2746N/mm^2}{9322N/mm^2} = 6413mm^2$$

$$I_{ef,fin} = I_f + I_w \cdot \frac{E_{mean,fin,w}}{E_{mean,fin,f}} = 85890000mm^4 + 4000000mm^4 \cdot \frac{2746N/mm^2}{9322N/mm^2} = 87068207mm^4$$

Taivutusmitoitus (MRT): (Kilpinen 2010)

Paarteet:

Puristuspaarre lopputilassa:

Mitoitusehto:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{f,m,d}$$

$$\sigma_{f,c,max,d} = \frac{M_{d,max}}{I_{ef}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{4,87 \cdot 10^6 Nmm}{87068207mm^4} \cdot \frac{300mm}{2} = 8,39N/mm^2$$

$$f_{f,m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24N/mm^2}{1,4} = 13,71N/mm^2 (61\%)$$

Vetopaarre lopputilassa:

Mitoitusehto:

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{f,m,d}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} = \frac{M_{d,max}}{I_{ef}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{4,87 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{87068207 \text{ mm}^4} \cdot \frac{300 \text{ mm}}{2} = 8,39 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{f,m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 13,71 \text{ N/mm}^2 (61\%)$$

Puristuspaarten nurjahdus/puristus:

Mitoitusehto:

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,o,d} \cdot k_c$$

$$\sigma_{f,c,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot h_1 = \frac{4,87 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{87068207 \text{ mm}^4} \cdot 116 \text{ mm} = 6,49 \text{ N/mm}^2$$

h_1 =paarten painopiste

$$h_1 = h - \left(\frac{b \cdot h_f^2 - b_w \cdot a \cdot (2 \cdot h_f - a)}{2 \cdot (b_f \cdot h_f - b_w \cdot a)} \right) \text{ (I-palkkirakenteiden suunnittelu. 11)}$$

$$h_1 = 150 \text{ mm} - \left(\frac{45 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot (2 \cdot 70 \text{ mm} - 20 \text{ mm})}{2 \cdot (45 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm} - 6 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm})} \right) = 116 \text{ mm}$$

$$h_1 = 150 \text{ mm} - \left(\frac{45 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot (2 \cdot 70 \text{ mm} - 20 \text{ mm})}{2 \cdot (45 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm} - 6 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm})} \right) = 116 \text{ mm}$$

$$f_{f,c,o,d} \cdot k_c = 0,8 \cdot \frac{21 \text{ N/mm}^2}{1,4} \cdot 1,0 = 12 \text{ N/mm}^2 (54\%); k_c=1,0, \text{ koska paarre on tu-}$$

ettu sivusuunnassa.

Vetopaarteen keskimääräinen verojännitys:

Mitoitusehto:

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,0,d}$$

$$f_{f,t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{f,t,d} = 5,89 \text{ N/mm}^2 < f_{f,t,0,d} = 0,8 \cdot \frac{14 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 8 \text{ N/mm}^2 (81\%)$$

Uuman keskimääräinen puristusjännitys alkutilanteessa:

Mitoitusehto:

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{w,c,0,d}$$

$$\sigma_{w,c,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{E_{\text{mean},w}}{E_{\text{mean},f}} = \frac{4,87 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{87562727 \text{ mm}^4} \cdot \frac{300 \text{ mm}}{2} \cdot \frac{4600 \text{ N/mm}^2}{11000 \text{ N/mm}^2} = 3,49 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{w,c,0,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 12,48 \text{ N/mm}^2 (28\%)$$

Uuman keskimääräinen vetojännitys alkutilanteessa:

$$\sigma_{w,t,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{E_{\text{mean},w}}{E_{\text{mean},f}} = \frac{4,87 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{87562727 \text{ mm}^4} \cdot \frac{300 \text{ mm}}{2} \cdot \frac{4600 \text{ N/mm}^2}{11000 \text{ N/mm}^2} = 3,49 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{w,t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{w,c,0,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{23 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 11,96 \text{ N/mm}^2 (29\%)$$

Palkki 60x148 (C24) kestää taivutusjännityksen.

Leikkausmitoitus (MRT): (RIL 205-1-2007. 130; Kilpinen 2010)

Tarkistetaan, tarvitaanko yksityiskohtaista uumalevyn lommahdusanalyysiä:

Ehto:

$$h_w \leq 70 \cdot b_w$$

h_w = uumalevyn vapaakorkeus

$$160\text{mm} \leq 70 \cdot 6\text{mm} = 420\text{mm}$$

→ Yksityiskohtaista uumalevyn lommahdusanalyysia ei tarvita.

$$h_w \leq 35 \cdot b_w \leftrightarrow 160\text{mm} \leq 35 \cdot 6\text{mm} = 210\text{mm}$$

$$\rightarrow F_{v,w,d} \leq f_{v,d} \cdot b_w \cdot h_w \left[1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right]$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{16\text{N/mm}^2}{1,25} = 8,32\text{N/mm}^2 \quad (\text{paneelileikkauslujuus})$$

$$F_{v,w,d} \leq f_{v,d} \cdot b_w \cdot h_w \left[1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right]$$

$$F_{v,w,d} = V_{d \text{ max}} = 4,92\text{kN}$$

$$4,92\text{kN} \leq 8,32\text{N/mm}^2 \cdot 6\text{mm} \cdot 160\text{mm} \cdot \left[1 + \frac{0,5 \cdot (70\text{mm} + 70\text{mm})}{160\text{mm}} \right] = 11,5\text{kN} (43\%)$$

Saumaleikkaus:

Mitotusehto: (RIL 205-1-2007. 130)

$$\tau_{mean,d} \leq f_{r,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} \quad , \text{koska } h_f > 4 \cdot b_{ef} \leftrightarrow 70\text{mm} > 4 \cdot 3\text{mm} = 12\text{mm}$$

$$b_{ef} = 0,5 \cdot b_w = 0,5 \cdot 6\text{mm} = 3\text{mm} \quad (\text{RIL } 205-1-2007. \text{ 131})$$

$$f_{r,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5\text{N/mm}^2}{1,25} = 1,3\text{N/mm}^2 \quad (\text{tasoleikkauslujuus})$$

Paarten staattinen momentti neutraaliakselin suhteen:

$$S_p = \frac{b \cdot (h^2 - h_w^2) - b_w \cdot [(h_w + 2 \cdot a)^2 - h_w^2]}{8} \quad (\text{I-palkkirakenteiden suunnittelu. 11})$$

$$S_p = \frac{45\text{mm} \cdot ((300\text{mm})^2 - (160\text{mm})^2) - 6\text{mm} \cdot [(160\text{mm} + 2 \cdot 20\text{mm})^2 - (160\text{mm})^2]}{8} =$$

$$S_p = 351450\text{mm}^3$$

$$\text{Liimasauman pituus } l_g = 20\text{mm} + 20\text{mm} = 40\text{mm}$$

Liimasauman pituuteen ei oteta huomioon levyn paksuutta (6 mm), koska liimauksen onnistumista tuolla pinnalla ei voida taata.

$$\tau_{mean,d} = \frac{V_d \cdot S_p}{I_{ef} \cdot l_g} = \frac{4920\text{N} \cdot 351450\text{mm}^3}{87068270\text{mm}^4 \cdot 40\text{mm}} = 0,50\text{N/mm}^2$$

$$\tau_{mean,d} \leq f_{r,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} \Leftrightarrow 0,50\text{N/mm}^2 \leq 1,3\text{N/mm}^2 \cdot \left(\frac{4 \cdot 3\text{mm}}{70\text{mm}} \right)^{0,8} = 0,32\text{N/mm}^2 \quad (156\%)$$

Palkki ei kestä eurokoodin mukaista saumaleikkausmitoitusta.

Jotta palkki kestäisi saumaleikkausmitoituksen, tulisi sauman pituuden olla vähintään:

$$l = \frac{V_d \cdot S_p}{\tau_{mean,d} \cdot I_{ef}} = \frac{4920N \cdot 351450mm^3}{0,32N/mm^2 \cdot 87068270mm^4} = 62mm$$

Taipumamitoitus (MRT): (Kilpinen 2010)

Hyötykuorman lyhytaikaisen osuuden aiheuttama hetkellinen taipuma:

$$\rightarrow p = (1 - \psi_2) \cdot q_k = (1 - 0,3) \cdot 0,6m \cdot 2kN/m^2 = 0,84kN/m$$

$$w_{ref} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{ef}} + \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot G_{w,mean} \cdot A_w}$$

$$w_{2,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{ef,fin}} + \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot G_{w,mean} \cdot A_w}$$

$$w_{2,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,84N/mm \cdot (3,955mm)^4}{11000N/mm^2 \cdot 87068207mm^4} + \frac{0,84N/mm \cdot (3,955mm)^2}{8 \cdot 1900N/mm^2 \cdot 1200mm^2} =$$

$$w_{2,inst} = 2,7942mm + 0,7204 = 3,5146mm$$

Pitkäaikainen kokonaistaipuma:

$$w_{g,fin} = \frac{5}{384} \cdot \frac{k - joko \cdot g_k \cdot L^4}{E_{mean,fin,f} \cdot I_{ef,fin}} + \frac{k - joko \cdot g_k \cdot L^4}{8 \cdot G_{mean,fin,w} \cdot A_w}$$

$$w_{g,fin} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,6 \cdot 1,0N/mm \cdot (3955mm)^4}{6875N/mm^2 \cdot 87068207mm^4} + \frac{0,6 \cdot 1,0N/mm \cdot (3955mm)^2}{8 \cdot 585N/mm^2 \cdot 1200mm^2} =$$

$$w_{g,fin} = 3,1933mm + 1,6712mm = 4,8645mm$$

$$w_{q,fin} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,6 \cdot (2,0 \cdot 0,3) N / mm \cdot (3955 mm)^4}{6875 N / mm^2 \cdot 87068207 mm^4} + \frac{0,6 \cdot (2,0 \cdot 0,3) N / mm \cdot (3955 mm)^2}{8 \cdot 585 N / mm^2 \cdot 1200 mm^2} =$$

$$w_{q,fin} = 1,9160 mm + 1,0027 mm = 2,9187 mm$$

$$w_{net,fin} = w_{2,inst} + w_{g,fin} + w_{q,fin} = 3,5146 mm + 4,8645 mm + 2,9187 mm = 11,2978 mm$$

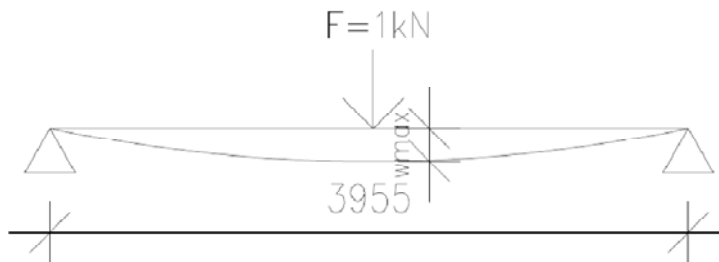
Mitoitusehto:

$$w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} \leftrightarrow 11,30 mm < \frac{3955 mm}{300} = 13,18 mm (86\%)$$

Palkki 60x148 (C24) taipuu sallituissa rajoissa.

Värähtelymitoitus: (RIL 205-1-2007. 196; Kilpinen 2010)

Värähtelymitoitus ei ole pakollinen, mutta asiakkaan sitä vaatiessa se täytyy esittää. Asuintaloissa tarkistetaan, että kävelystä aiheutuva värähtely pysyy rajoitettuna. Myös koneet voivat aiheuttaa värähtelyä, mutta tässä kohteessa värähtelyä aiheuttavia koneita ei välipohjan päällä ole. Kohteen välipohjarakenne ei ole mitoitusohjeiden mukainen, vaan rakenne tulisi olla kuvan B.4.2. mukainen (RIL 205-1-2007. 197). Mitoitus tehdään ohjeen mukaiselle rakenteelle. Valitaan välipohjapalkiksi KERTO-S 51x300 mm, jotta välipohjarakenteen korkeus pysyy samana. Värähtelytarkastelussa asetetaan 1 kN:n piste-kuorma keskelle palkkia (kuva 21). (RIL 205-1-2007. 196.)



KUVA 21. Värähtelymitoituksen rakennemalli

Palkin taivutusjäykkyys:

$$\left. \begin{aligned} E &= E_{mean} = 13800 \text{ N/mm}^2 \\ I &= I_{ef} = \frac{51 \text{ mm} \cdot (300 \text{ mm})^3}{12} = 114750000 \text{ mm}^4 \end{aligned} \right\} (EI)_p = 1,58 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \text{ (RIL 205-1-2007. 50)}$$

Lattian omapainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman yhteinen massa:

$$m = \frac{g_k + \psi_2 \cdot q_k}{9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{1000 \text{ kg} + 0,3 \cdot 2000 \text{ kg}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 132,52 \text{ kg/m}^2$$

Lattian ominaistajuuden tulee olla yli 9Hz, jotta ei tarvita erityistarkastelua.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{s \cdot m}} = \frac{\pi}{2 \cdot (3,955 \text{ m})^2} \cdot \sqrt{\frac{1,58 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2}{0,6 \text{ m} \cdot 132,52 \text{ kg/m}^2}} = 14,16 \text{ Hz} > 9 \text{ Hz}$$

Kuvan (B.4.2) mukaisen lattiarakenteen värähtelymitoituksessa rakenteellisesti liimatun T- poikkileikkauksen taivutusjäykkyyden likiarvo saadaan kaavalla:

$$(EI)_T \approx (2,2 - 0,1 \cdot L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p \text{ (RIL 205-1-2007. 196)}$$

$$(EI)_T \approx (2,2 - 0,1 \cdot 3,955 \text{ m}) \cdot (0,4 + 0,6 \text{ m}) \cdot 1,58 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 2,85 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_L = 0,5 \cdot ((EI)_p + (EI)_T) = 1,58 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 + 2,85 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 4,43 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Taipuma 1 kN:n pistekuormasta:

$$w_{\max} = \frac{FL^3}{48EI} = \delta$$

$$\delta_L = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot (EI)_L \cdot s} = \frac{1000 \text{ N} \cdot (3955 \text{ mm})^3}{48 \cdot 4,43 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \cdot 0,6} = 0,48 \text{ mm}$$

oletetaan, että $w_{\max} = 0,5\text{mm}$

Sallittua taipumaa voidaan korottaa korotuskertoimella k: (RIL 205-1-2007. 91.)

$$k = \frac{1}{0,318 + 0,114 \cdot L} = \frac{1}{0,318 + 0,114 \cdot 3,955\text{m}} = 1,30$$

$$\delta_{\max} = 1,30 \cdot 0,5\text{mm} = 0,65\text{mm}$$

Mitoitusehto: $k_B \cdot k_s \cdot \delta_L \leq 0,65\text{mm}$ (RIL 205-1-2007. 198)

Kerros k_s huomioi välipohjapalkkien k-jaon:

$$k_s = \sqrt{\frac{s}{0,6}} = \sqrt{\frac{0,6}{0,6}} = 1 \text{ (RIL 205-1-2007, 198)}$$

Kerros k_B huomioi lattian poikittaissuunnan jäykkyyden ja huoneen koon:

$$k_B = 0,5$$

$$0,5 \cdot 1 \cdot 0,48 = 0,24\text{mm} \leq 0,65\text{mm} (37\%)$$

Rakenne täyttää värähtelymitoituksen.