



Hirsirungon jäykistys

Hirsiseinän leikkausmitoitus

Einari Pikkarainen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Pikkarainen, Einari

Hirsirungon jäykistys. Hirsiseinän leikkausmitoitus

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 39 sivua

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Hirsirakentaminen on tuhansia vuosia kestänyt perinne suomalaisessa rakentamisessa. Rakennusalan standardit ovat kasvaneet merkittävästi, joten hirsirakentamisenkin on pysyttävä uudisrakennusten suunnittelulle asetettujen vaatimusten perässä, jotta hirsirakennusten turvallisuus ja kestävyys voidaan kiistattomasti todistaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia hirsirungon mitoitukseen sisältyvää vaarnauksen leikkausmitoitusta, sekä luoda siitä toimeksiantajalle yksinkertaiset ohjeet ja laskentapohja suunnittelutyön avuksi. Työn tavoitteena oli myös selvittää vaihtoehtoiset menetelmät, joilla hirsisauman leikkauskestävyys voitiin saavuttaa. Toimeksianto oli todellisen työelämän ongelman ratkaisu, joten menetelmänä toimi tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Työssä käytettävä aineisto kerättiin alan suunnitteluohjeista. Tiedonkeruun jälkeen tehtiin laskelma esimerkkitilanteesta. Työssä perehdyttiin tarkkaan kuormien määrittämiseen ja hirsirungon toimintaperiaatteisiin, sillä ne olivat oleellinen osa toimeksiantoa.

Tuloksena saatiin laskentaohjeet ja Excel pohjainen laskuri, joiden avulla kuormien hallittuun vastaanottamiseen tarvittavat vaarnausten määrät saatiin laskettua. Tuloksista kävi ilmi, että toimeksiantajan käyttämä pystyruuvaus oli leikkauskestävyyden saavuttamiseen toimiva ratkaisu. Työn tuloksena saatiin myös tietoa vaihtoehtoisista menetelmistä hirsirungon jäykistämiseen, sekä tietoa ratkaisuista, joiden avulla nykyistä menetelmää voitiin optimoida.

Työn johtopäätöksiä todettiin, että hirsisiä väliseiniä kannatti hyödyntää mahdollisimman suurissa määrin jäykistävinä rakenneosina, jotta yksittäisen seinän vaarnausten määrät eivät kasvaneet liian suuriksi. Erilaisien hirsiprofiilien vaikutus vaarnauksen leikkausmitoitukseen tuli myös selkeästi esille ja todettiin, että ris-tiin laminoidun hirren kantava pystysuuntainen lamelli aiheutti merkittävän aleneman vaarnauksen leikkauskestävyydessä.

Avainsanat (asiasanat)

hirsirakentaminen, rakennesuunnittelu, hirret, rakennusteollisuus, hirsirakennukset, vapaa-ajan asunnot, rakennusinsinöörit

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Pikkarainen, Einari

Bracing of a log frame. Calculating the shear strength of a log wall

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 39 pages.

Degree Programme in Construction and civil engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Log construction is thousands of years old tradition in Finnish construction. Standards in the field of construction have increased significantly and log construction as a field must keep up with the set requirements to indisputably prove the safety and durability of a log building.

The purpose of the thesis was to study calculating the shear strength of a log wall, which is an important part of designing a log frame and to create simple instructions and calculating tools for the employer. Another objective of the thesis was to find alternative methods, with which the required shear strength of a horizontal log joint could be achieved. The assignment was to solve an actual problem at the workplace, so the methods of investigative development were chosen to carry it out. The material for the thesis was gathered from design codes in the field of construction. After the material was gathered, exemplary calculations were made. The wind loads and the log frame's operating principles were researched extensively as they were an essential part of the assignment.

As a result of the thesis, instructions and calculating tools were created, with which the required number of screws in a horizontal log joint could be calculated. The results showed that the employer's method of using vertical screws as bracing was effective. As a result of the thesis, information was also gathered about alternative methods for bracing a log frame and ways to optimize the existing bracing method were also researched.

Conclusions showed that utilizing dividing walls as additional load bearing entities was essential so that the number of screws required on any single wall doesn't become too high. The effects that different log profiles had on the shear strength of the joint were also studied and it was discovered that the vertical load bearing part of wood in the middle of a cross laminated log caused a significant loss in the shear strength of the joint.

Keywords/tags (subjects)

log construction, structural design, logs, building industry, log buildings, secondary residences, civil engineers

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Työn rajausta ja tavoitteet.....	3
1.2	Toimeksiantaja.....	4
1.3	Tutkimuskysymykset.....	4
1.4	Menetelmäkuvaus.....	4
2	Hirsirungon mitoitusta	5
3	Tuulikuorman laskenta	7
3.1	Tuulen puuskanopeuspaine.....	7
3.2	Maastoluokat.....	8
3.3	Maaston pinnanmuoto.....	9
3.4	Tuuliprojektion kokonaistuulivoima.....	11
4	Hirsirunko	13
4.1	Hirsirungon toimintaperiaate.....	13
4.2	Jäykistävän hirsiseinän kuormitus.....	14
5	Jäykistysruuvien leikkauskestävyys	16
5.1	Profiloidut pyöreät naulat.....	18
5.2	Heikentävät ja parantavat tekijät.....	19
6	Laskentaesimerkki	20
6.1	Kuormat ja mitoitustapaukset.....	23
6.2	Jäykistysruuvien leikkauskestävyys.....	23
6.3	Seinäkohtaiset ruuvimäärät.....	24
7	Tulokset	25
8	Pohdinta	27
8.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	27
8.2	Luotettavuus ja eettisyys.....	28
	Lähteet	29
	Liitteet	30
	Liite 1. Esimerkkikohteen laskenta.....	30
	Liite 2. Finnwood laskentaraaportti.....	35
	Kuviot	
	Kuvio 1, hirsiprofiilit.....	5
	Kuvio 2, Mitoituskaavio.....	6

Kuvio 3, Puuskanopeuspaineen ominaisarvot maastoluokan ja korkeusaseman funktiona.....	8
Kuvio 4, Maastoluokkien kuvaukset	9
Kuvio 5, Suurennuskerroin toispuoleisella maastonkohdalla	10
Kuvio 6, Suurennuskerroin kaksipuoleisen maastonkohouman alueella	11
Kuvio 7, Voimakertoimen määrittäminen	12
Kuvio 8, kantavan hirsiseinän jäykisteet	13
Kuvio 9, Aukoton hirsiseinä tuulikuorman välittäjänä	15
Kuvio 10, Aukollinen hirsiseinä tuulikuorman välittäjänä.....	15
Kuvio 11, Jäykistävän hirsiseinän kuormituskaavio	16
Kuvio 12, Ruuvityypit	17
Kuvio 13, Esimerkkikohteen pohjakuva	20
Kuvio 14, Esimerkkikohteen leikkaus.....	21
Kuvio 15, hirsien välinen leikkausliitos.....	22
Kuvio 16, Seinätunnukset.....	24
Kuvio 17, Ruuvaukset seinäkuvassa.....	25
Kuvio 18, Excel laskentapohja	26

Taulukot

Taulukko 1, Mitoituksen koontitaulukko	24
--	----

1 Johdanto

Hirsirakentaminen on useita vuosituhansia kestänyt perinne. Hirttä on Suomessa käytetty rakennusmateriaalina todistetusti jo noin 5000 vuotta sitten ja vanhin edelleen pystyssä oleva suomalainen hirsirakennus on rakennettu 1400-luvulla. (Vuolle-Apiala 2012, 8.) Hirsirakentaminen oli pohjoisella havupuuvyöhykkeellä luonteva tapa rakentaa, sillä puuta voitiin hyödyntää hyvin lähellään alkuperäistä muotoa ja sen avulla saatiin helposti tiivis ja lämpöä eristävä seinärakenne. 1700-luvulla hirrestä rakennettiin kokonaisia kaupunkeja. (RT 82-11168 2014.)

1900-luvun alkupuolella rankarakenteiset puutalot alkoivat syrjäyttää hirren suurimpana talonrakennusmateriaalina, mutta silloinkin, kuten tähänkin päivään saakka hirsirakentaminen säilyttää suosionsa vapaa-ajan rakennuksien rakennusmenetelmänä. (RT 82-11168 2014.) Rankarakentamisen ollessa yleisin tapa rakentaa uudisrakennuksia puusta, niiden suunnitteluun luotiin tarkat ohjeet ja standardit. Huolimatta siis hirsirakentamisen pitkästä perinteestä, hirsirakennusten suunnitteluun ei ole luotu kattavia suunnitteluohjeita.

Hirsirakentamisen teollistuminen antoi alalle eväät kilpailla rankarakentamisen kanssa uudisrakentamisen menetelmänä ja uudet innovaatiot tekevät hirsitalosta entistäkin halutummaksi rakennuksen. Nykyään lähes kaikki uudet suomalaiset hirsirakennukset toteutetaan teollisesti. (RT 82-11168 2014.) Hirren käyttö yhä useammassa ja suuremmissa kohteissa luo nyt tarpeen suunnitteluohjeille, joiden avulla hirsirakennus voidaan toteuttaa turvallisesti ja nykystandardien mukaisesti.

1.1 Työn rajaus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoite oli tarkastella hirsirakennuksen suunnitteluun sisältyvää jäykistysmitoitusta, sekä luoda sen toistettavaan läpikäyntiin selkeät ohjeet ja helposti hyödynnettävä laskentamalli. Työ rajattiin vielä jäykistysmitoituksesta tarkemmin jäykistävän hirsiseinän vaarnauksen leikkausmitoitukseen. Tarkastelu rajoitettiin yksikerroksisiin, noin 50 neliömetrin kerrosalaisiin vapaa-ajan rakennuksiin, joiden jäykistävien seinien leikkausliitokset toteutettiin pystyruuvauksin. Laskennassa ei oteta kantaa ankkurointiin, vaan sen oletetaan toimivan perustuksiin liitoksessa ja jokaisessa hirsivälissä.

1.2 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja on Salvos Finland Oy, joka on vuonna 2008 perustettu rakennusalan yritys. Salvos tuottaa hirrestä teollisesti valmistettuja vapaa-ajan rakennuksia, kuten saunoja, aittoja ja mökkejä. Salvos tarjoaa asiakkailleen hirsirunkotoimituksia, laajoja tarviketoimituksia ja valmistotoimituksia. Asiakas voi siis halutessaan rakentaa mökkinsä myös kokonaan itse Salvoksen toimittamalla tarvikkeilla. Valmistotoimitukset toteutetaan yhdestä tai useammasta moduulista, jotka kuljetetaan kokonaisina tontille ja tarvittaessa yhdistetään työmaalla. Rakennukset tehdään aina mahdollisimman suureen valmiusasteeseen sisätiloissa, ja ne suojataan kuljetuksen ajaksi.

1.3 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat:

- Onko toimeksiantajan jäykistysratkaisu toimiva?
- Millä tavoin toimeksiantajan jäykistysratkaisua voidaan optimoida säästämään aikaa ja rahaa?
- Millä muilla tavoilla jäykistyksen voi toteuttaa?

1.4 Menetelmäkuvaus

Opinnäytetyön toimeksianto on todellisen työelämän ongelman ratkaisu, tutkimuskirjallisuuteen perustuen. Opinnäytetyö on siis tutkimuksellista kehittämistoimintaa, jonka kohderyhmänä on toimeksiantaja. Toikon ja Rantasen (2009, 22–23) mukaan tutkimuksellisessa kehitystoiminnassa todelliset työelämän ongelmat luovat perustan tiedon tuotannolle ja kehitystoiminta luo reunaehdot tutkimukselle. Tutkimuksellisessa kehittämistoiminnassa tavoitellaan pelkän kehittämisen lisäksi myös luotettavan tiedon tuottamista.

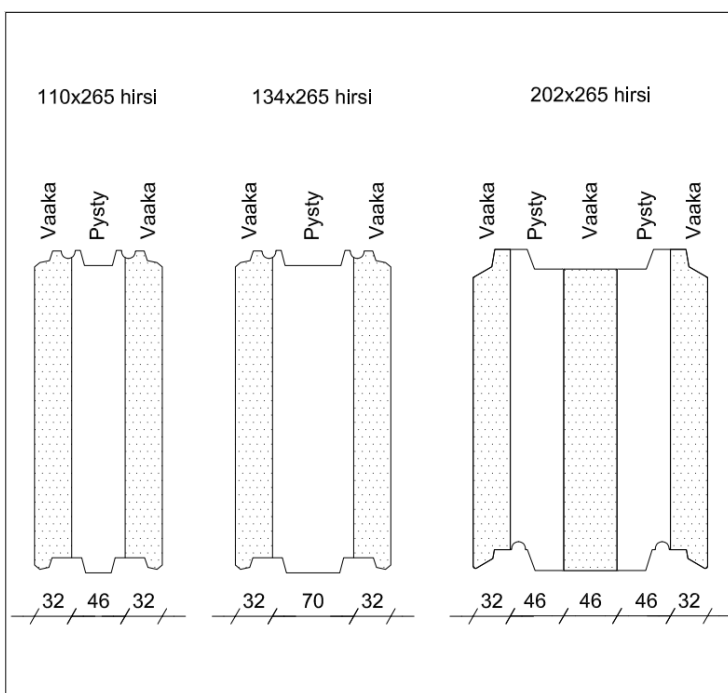
Kerään opinnäytetyöni aineiston aiheeseen liittyvistä kirjoista, internet julkaisuista ja dokumenteista. Aineiston keruun jälkeen teen laskennan esimerkkirakennuksesta ja luon Excel laskentapohjan työkaluksi toimeksiantajalle. Opinnäytetyö raportti toimii myös laskentaohjeena toimeksiantajalle.

2 Hirsirungon mitoitus

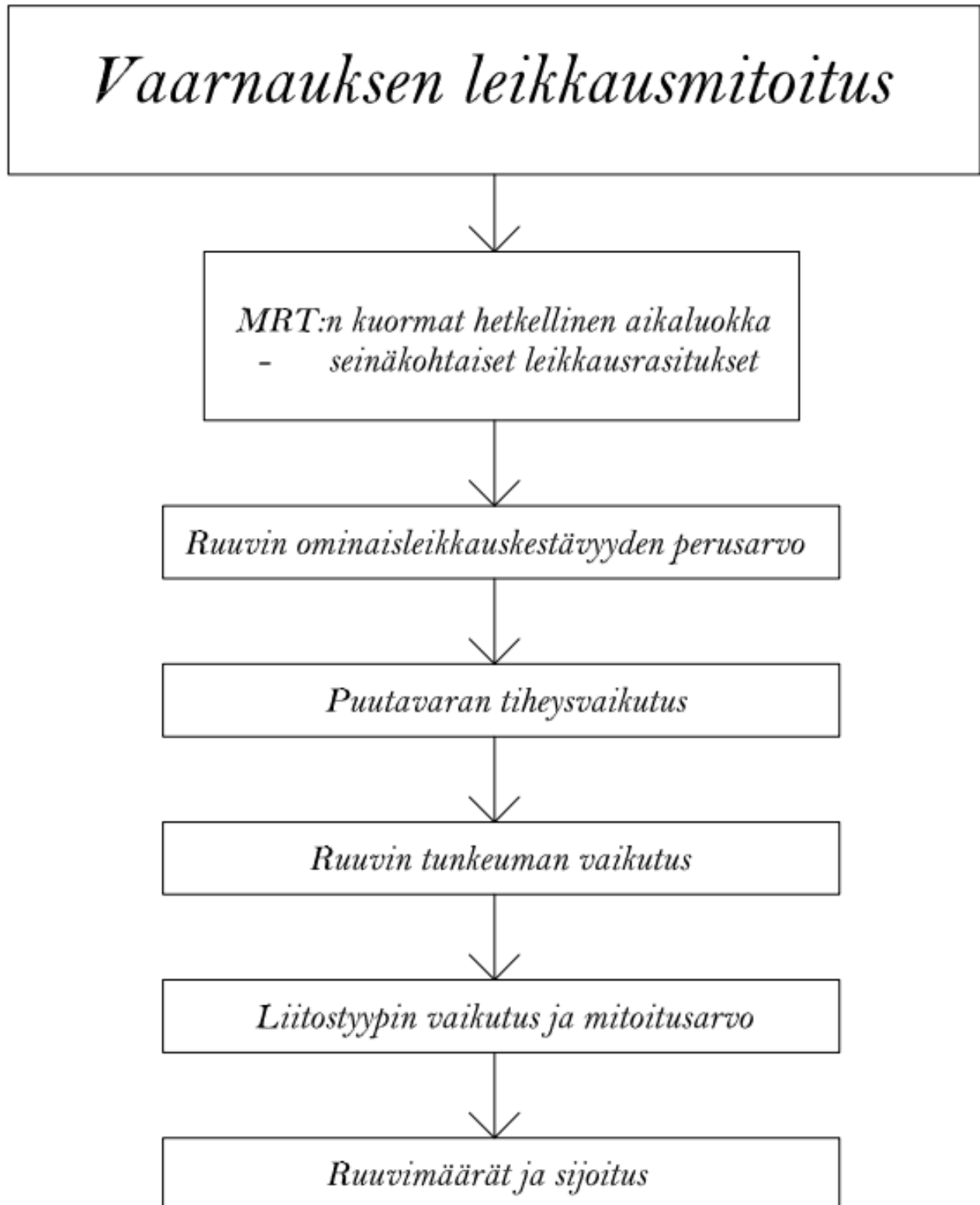
Kokonaisuudessaan jäykistävän hirsiseinän mitoituksessa tarkasteltavia tekijöitä ovat hirren paneelileikkauskestävyys, vaakasaumojen vaarnauksen leikkauskestävyys, seinän ankkurointitarve alapuoliseen rakenteeseen sekä seinän yläpään vaakasiirtymä käyttörajatilassa. Ankkurointitarve on tarkistettava seinän alapään lisäksi myös jokaisen hirsisauman kohdalla. Ankkurointitarvetta laskiessa voidaan hyödyntää rakenteen omaa painoa positiivisena tekijänä, joka vähentää ankkurointikuormaa. (Jäykistävän hirsiseinän mitoitusohjelma 2017.)

Tässä työssä tarkastellaan vain vaakasaumojen vaarnauksen leikkauskestävyyttä toimeksiantajan mallistossa olevien, ristiin laminoitujen painumattomien hirsien osalta. Hirsien vaarnaus toteutetaan pystysuuntaisilla ruuviliitoksilla hirren keskeltä. Vaarnauksena toimivat ruuvit mitoitetaan leikkausliittiminä. Hirsiseinän vaakasaumojen leikkauskestävyys muodostuu pääasiassa vaarnauksen leikkauskestävyyksien summasta. Nurkkasalvokset lisäävät saumojen leikkauskestävyyttä hie-man, mutta salvostyyppin mukaan sen osuus on lähes olematon, jonka takia sitä ei huomioida laskennassa. (Jäykistävän hirsiseinän mitoitusohjelma 2017.)

Käytettävät hirsiprofiilit on esitetty kuviossa 1 ja niiden dimensiot ovat 110x265, 134x265 ja 202x265. Mitoituksen etenemistä kuvattu kuviossa 2



Kuvio 1, hirsiprofiilit



Kuvio 2, Mitoituskaavio

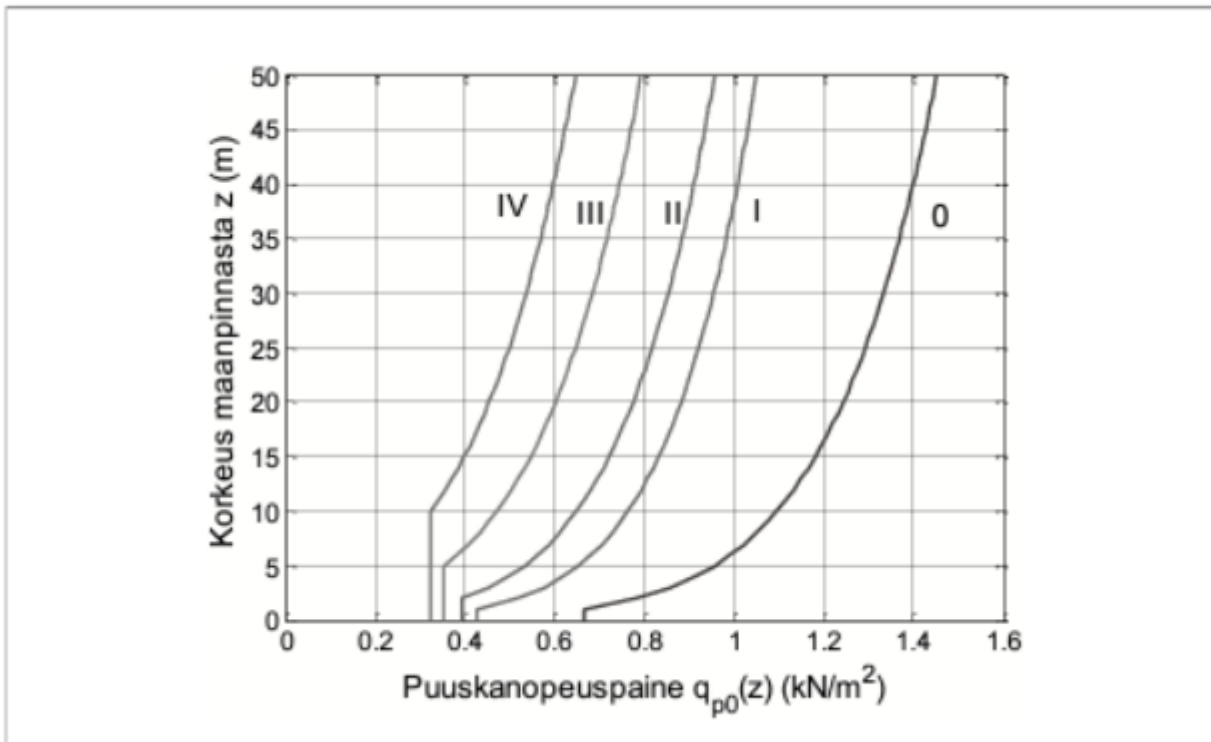
3 Tuulikuorman laskenta

Tuulikuorma on muuttuvaa kuormaa, joka aiheuttaa painetta rakennuksen pintoihin. Rakennukseen tai rakennusosaan kohtisuoran tuulenpaineen aiheuttaman kuormituksen lisäksi myös tuulen suuntaiset suuret pinta-alat lisäävät rasitusta kitkavoimien takia. Tuulikuorman mitoitus perustuu tuulen nopeuspaineen perusarvon määrittämiseen ja sen soveltamiseen rakennuksen mittasuhteet huomioiden. Nopeuspaineen perusarvot on määritelty 50 vuoden toistumisjaksolle siten, että perusarvon mukainen tuulen nopeuspaine saavutettaisiin keskimäärin kerran 50 vuodessa. (RIL 201-1-2017 s.127.)

Rakennuksen jäykistävän rungon suunnittelussa voidaan tuulikuorman osalta hyödyntää yksinkertaistettua kokonaistuulivoiman laskentaperiaatetta, jossa tuuliprojektioon kohdistuva kuorma yksinkertaistetaan yksittäiseksi kokonaisvoimaksi voimakertoimen c_f avulla. Voimakerroin huomioi kohtisuoran paineen lisäksi yhdensuuntaisiin pinta-aloihin kohdistuvat kitkavoimat. (RIL 201-1-2017 s. 123–125.)

3.1 Tuulen puuskanopeuspaine

Tuulen nopeuspaine perustuu tuulennopeuden modifioimattomaan perusarvoon V_b jonka arvona käytetään Suomessa 21 m/s kaikilla alueilla. Tuulikuorman laskennan ensimmäinen vaihe on määrittää tuulen nopeuspaine $q_{p0}(z)$, joka määräytyy rakennuspaikan maastoluokan sekä korkeusaseman (z) perusteella. Korkeusasema määritetään rakennuksen paikalla lopullisesta maanpinnan korkeudesta rakennuksen harjalle. Kuviosta 3, maastoluokan ja korkeusaseman avulla saatava puuskanopeuspaineen ominaisarvo on tuulennopeuden perusarvon tavoin 50 vuoden toistumisjakson maksimiarvo. (RIL 201-1-2017 s.136.)



Kuvio 3, Puuskanopeuspaineen ominaisarvot maastoluokan ja korkeusaseman funktiona (RIL 201-1-2017 s.136)

3.2 Maastoluokat

Tuulen voimakkuus rakennusta kuormittavana tekijänä riippuu rakennusta ympäröivän maaston rosoisuudesta. Eurokoodissa maasto-olosuhteet on jaettu viiteen eri maastoluokkaan 0-IV. Rakennuksen sijaitessa kahden eri maastoluokan muutoskohdan läheisyydessä on tuulikuormaa laskettaessa käytettävä laskennallisesti epäedullisempää maastoluokkaa. Raja-arvoina epäedullisemmän maastoluokan valinnalle tuulikuormaa laskettaessa ovat alle 2 km etäisyys sileämmästä, luokan 0 maastosta tai alle 1 km etäisyys sileämmästä luokkiin I, II tai III kuuluvasta maastosta. (RIL 201-1-2017 s.130.) Maastoluokat kuvattu ja selostettu kuviossa 4.



Kuvio 4, Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2017 s.131)

3.3 Maaston pinnanmuoto

Maastoluokka yksistään ei ole kaikissa tapauksissa riittävän tarkka kuvaus maaston vaikutuksesta tuulenpaineeseen, sillä maastoluokan valinnassa ei huomioida maaston kaltevuutta. Rakennuspaikan sijaitessa harjanteella tai sen läheisyydessä voidaan tuulen puuskanopeuspainetta joutua kasvattamaan maaston kaltevuuden mukaan kertoimella Y_D . (RIL 201-1-2017 s. 133)

Pinnan muodon huomioiva modifioitu puuskanopeuspaine lasketaan siis kaavalla:

$$q_p(z) = Y_D * q_{p0}(z), \text{ jossa} \quad (1)$$

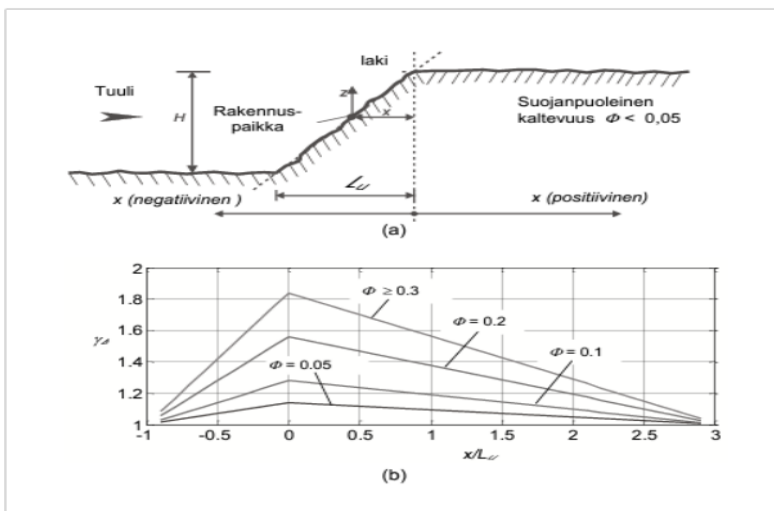
Maaston kaltevuuden ollessa pieni ($\Phi < 0,05$), käytetään suurennuskertoimelle Y_D arvoa 1,0.

Maaston kaltevuus Φ lasketaan kaavalla H/L_u , jossa H on maastonmuodon tehollinen korkeus ja L_u on rinteen pituus tuulen suunnassa (kuvio 3). (RIL 201-1-2017 s. 133)

Tapauksissa, joissa rakennuspaikka sijaitsee toispuoleisen maastokohdan alueella suurennuskerroin Y_D lasketaan kaavoilla:

$$Y_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 + \frac{x}{L_u}\right), \text{ kun } x < 0 \text{ (vrt. kuvio 3), tai} \quad (2)$$

$$Y_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 - \frac{0,33*x}{L_u}\right), \text{ kun } x \geq 0 \quad (3)$$



Kuvio 5, Suurennuskerroin toispuoleisella maastokohdalla (RIL 201-1-2017 s.134)

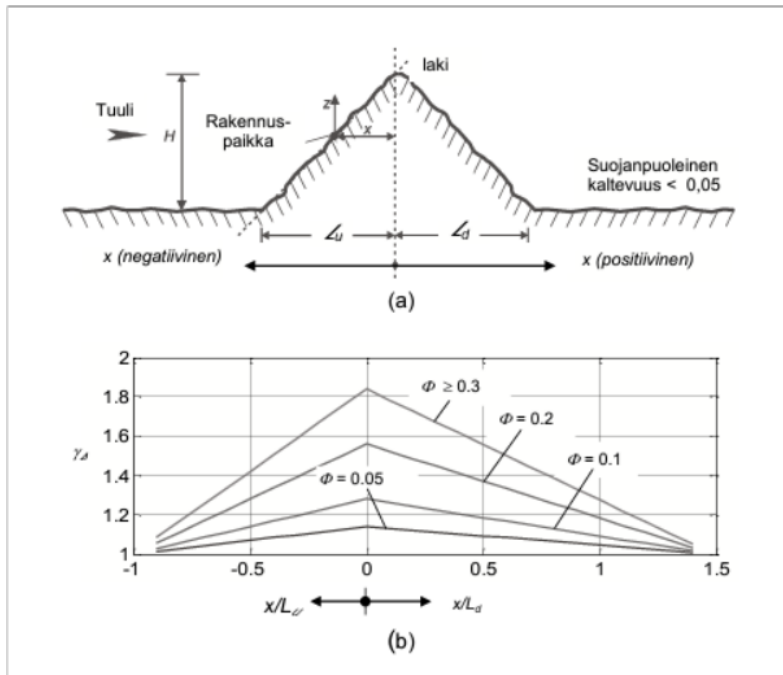
Maastonpinnan kaltevuuden ylittäessä 0,3 toispuoleisella maastokohdalla korvataan kuviossa 3 esiintyvän kuvaajan vaaka akselin muuttuja x/L_u termillä $x/(H/0,3)$, kun $x > 0$. (RIL 201-1-2017, 134)

Kaksipuoleisen harjanteen alueella suurennuskerroin lasketaan kaavoilla:

$$Y_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 + \frac{x}{L_u}\right), \text{ kun } x < 0, \text{ tai} \quad (4)$$

$$Y_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 - \frac{0,47*x}{L_d}\right), \text{ kun } x \geq 0, \text{ jossa} \quad (5)$$

$L_d =$ suojanpuoleisen rinteeseen pituus tuulen suunnassa



Kuvio 6, Suurennuskerroin kaksipuoleisen maastonkohouman alueella (RIL 201-1-2017, 135)

Kertoimen γ_d laskentakaavat soveltuvat tilanteisiin, joissa maaston kaltevuuskulma on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,3. Todellisen kaltevuuden ylittäessä arvon 0,3 käytetään laskennassa edelleen arvoa 0,3. (RIL 201-1-2017, 133.)

3.4 Tuuliprojektion kokonaistuulivoima

Tuulen puuskanopeuspainetta määritettäessä yksi olennainen tekijä oli rakennuksen harjakorkeus lopullisesta maanpinnan korkeusasemasta mitattuna. Puuskanopeuspaineen arvo kasvaa mitä korkeammalla sitä mitataan. Tämän takia korkeilla rakennuksilla kokonaistuulivoiman laskennassa on huomioitava paineen vaihtelu rakennuksen eri korkeusasemissa. Matalilla rakennuksilla taas puuskanopeuspaineelle oletetaan koko rakennuksen korkeudella sama, harjakorkeudella määritetty arvo. Rakennus luokitellaan matalaksi, jos sen korkeus on pienempi kuin sen leveys. Matalille rakennuksille kokonaistuulivoima lasketaan kaavalla: (RIL 201-1-2017, 140–142.)

$$F_w = c_s * c_d * c_f * q_p(h) * A_{ref}, \text{ jossa} \quad (6)$$

c_s = rakennuksen koon ja mittasuhteiden vaikutuskerroin

c_d = puuskien dynaamiset vaikutukset huomioiva kerroin

c_f = voimakerroin

$q_p(h)$ = pinnanmuodoilla modifioitu puuskanopeuspaine rakennuksen harjakorkeudella

A_{ref} = tuuliprojektion pinta-ala ($b \cdot h$), jossa b on rakennuksen leveys kohtisuoraan tuulta vastaan

Rakennekerroimelle $c_s \cdot c_d$ voidaan käyttää varmalla puolella olevaa arvoa 1 kaikissa tapauksissa, joissa rakennus on alle 15 m korkea. Rakennuksen pohjan ollessa suorakaiteen muotoinen ja tuulen puhaltaessa kohtisuoraan jotain rakennuksen julkisivua kohti, voimakerroin c_f voidaan määrittää kuviosta 7, jossa d on rakennuksen pituus tuulen suunnassa ja b on rakennuksen leveys kohtisuoraan tuulta vastaan. Väliarvot interpoloidaan. (RIL 201-1-2017, 140–142.)

λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Kuvio 7, Voimakertoimen määrittäminen (RIL 201-1-2017, 141)

Voimakertoimen määrittäessä kuviosta 7, täytyy myös selvittää rakennuksen tehollisen hoikkuiden λ arvo. Rakennuksen ollessa alle 15 m korkea tehollinen hoikkuiden $\lambda = 2 \cdot h/b$, jossa h on rakennuksen korkeus ja b on rakennuksen leveys kohtisuoraan tuulta vastaan. (RIL 201-1-2017, 140.)

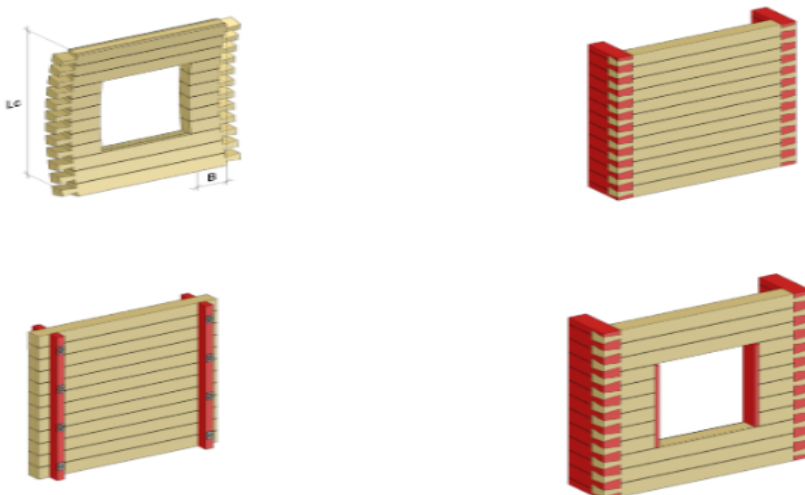
Hirsiseinän vaarnauksen leikkauskestävyyden mitoitus tehdään murtorajatilassa, joten tuulikuorman ollessa ainut vaikuttava kuorma, sen ominaisarvoa on korotettava muuttuvan kuorman varmuuskertoimella 1,5, sekä rakennuksen seuraamusluokasta riippuvalla kertoimella K_{FI} jonka arvona käytetään 0,9 seuraamusluokassa CC1, 1,0 seuraamusluokassa CC2 ja 1,1 seuraamusluokassa CC3. (RIL 201-1-2017, 39–40.)

4 Hirsirunko

Tässä luvussa tarkastellaan hirsirungon ja -seinän toimintaa pysty- ja vaakakuormitettuna kantavana rakenteena, sekä tarkastellaan miten rasitukset siirtyvät hirsirungossa. Luvun lopussa perehdytään kuormien hallittuun vastaanottamiseen eli varsinaisten liitososien mitoittamiseen.

4.1 Hirsirungon toimintaperiaate

Hirsirunko koostuu päällekkäin kasatuista hirsikerroista, jotka kiertävät tyypillisesti koko rakennuksen ympäri. Samaan hirsikertaan sijoittuvat hirret kiinnittyvät toisiinsa nurkkasalvosten avulla ja päällekkäiset hirsikerrat kiinnittyvät toisiinsa hirren poikkileikkauksen ylä- ja alareunassa olevilla varauksilla sekä mekaanisilla liittimillä, jotka asennetaan hirsikertoihin. Hirsiseinän kantokykyä rajoittava tekijä on seinän nurjahduskestävyys, sillä hirsiseinän kerroksellisen luonteen vuoksi sillä ei ole taivutuskestävyyttä korkeussuunnassa. Tästä syystä kantavan hirsiseinän tulee olla päistään tuettu jäykistävillä seinillä, sekä ikkuna- ja oviaukoissa tulee olla karapuut, jotka ottavat vastaan taivutusmomenttia. Tapauksen mukaan saatetaan käyttää myös hirsisiä tai rankarakenteisia jäykistäviä väliseiniä tai följareita lisäämään nurjahduskestävyyttä. (Rungon toimintaperiaate 2020; Seinien jäykistys 2020.) Kuviossa 6 kantavan hirsiseinän nurjahduskestävyyden saavuttamiseksi edellytettävät jäykisteet merkattu punaisella värillä. Följarit kuviossa 8 vasemmassa alanurkassa.



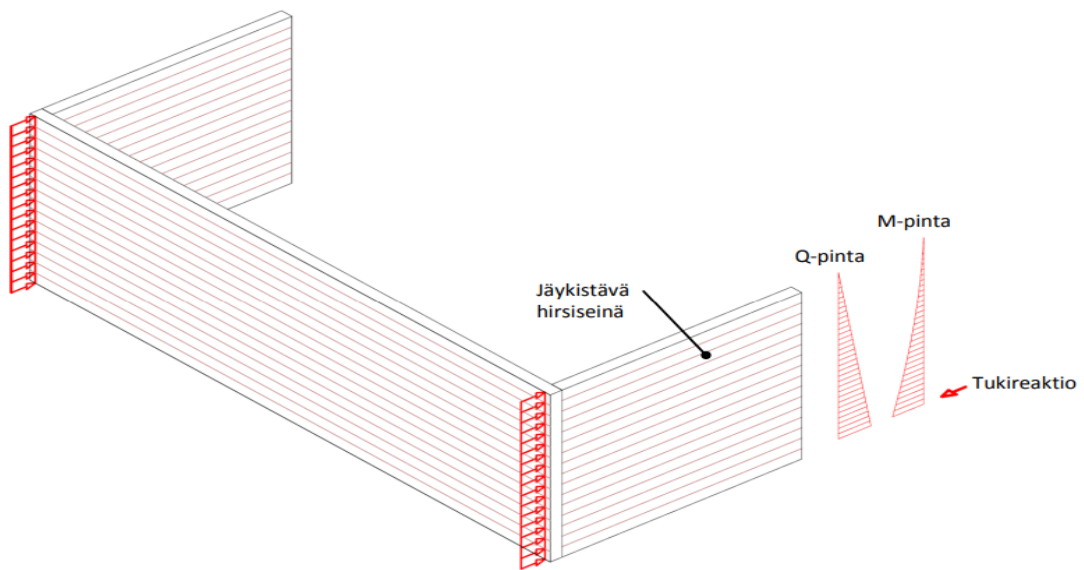
Kuvio 8, kantavan hirsiseinän jäykisteet (Seinien jäykistys 2020.)

Kantavat hirsiseinät toimivat usein myös jäykistävinä rakennusosina. Hirsiseinästä tehdään jäykistävä kiinnittämällä päällekkäiset hirret toisiinsa siten että ne välittävät vaakakuormat aina alemmille hirsille ilman suurta vaakasiirtymää. Kiinnitys tehdään useimmiten ruuveilla, teräsputkilla tai puuvaarnoilla. (Rungon toimintaperiaate 2020.) Käytettäessä ruuvausta jäykistysliitoksena on otettava huomioon käytettävä hirsityyppi. Painuvilla, lamelli- ja höylähirsillä voidaan käyttää ainoastaan pystyruuvausta osakierteisillä ruuveilla, jolloin jäykistyksen toteuttaa ruuvien leikkauskestävyys. Painumattomilla hirsillä voidaan käyttää myös vinoruuvausta, jolloin jäykistyksen laskemisessa voidaan hyödyntää ruuvien ulosvetokestävyttä. (Romppainen & Löf 2016, 41.)

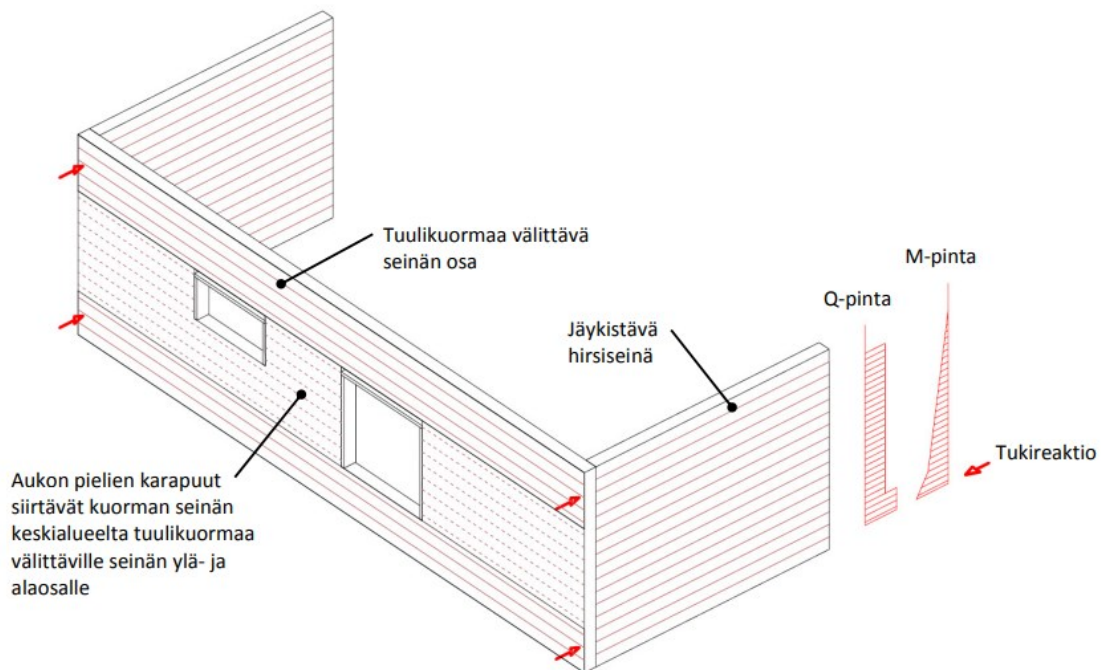
4.2 Jäykistävän hirsiseinän kuormitus

Jäykistäviä hirsiseiniä mitoitettaessa kuormitusta tarkastellaan tilanteissa, joissa tuuli kuormittaa rakennusta kohtisuoraan julkisivua kohden jokaisesta suunnasta, jossa julkisivuprojektio on erikoinen. Tuulta vastaan kohtisuorat seinät ottavat vastaan tuulenpaineen ja siirtävät sen tuulen kanssa yhdensuuntaisille seinille. Hirsiseinän kerroksellinen luonne aiheuttaa sen, että seinä ei ota vastaan taivutusmomenttia pystysuunnassa, jolloin tuulikuormaa ei oleteta siirtyvän suoraan perustuksille toisin kuin rankarakenteisissa seinissä. Hirret toimivat tuulikuormituksessa ikään kuin erillisinä palkkeina, jotka siirtävät kuorman tukipisteidensä kautta jäykistäville seinille. Kuorman jakautuminen jäykistäville seinille määräytyy kuormitusalueiden mukaisesti. (Romppainen & Löf 2016, 38.)

Mikäli tuulen kohtaamassa seinässä on aukkoja, vaakakuorma siirtyy jäykistäville seinille vain niiden hirsien kautta, jotka tukeutuvat molemmista päistään jäykistäviin seiniin. Muilta alueilta tuulikuorma siirtyy aukkojen pieliin asennettavien karapuiden kautta kuormaa välittäville hirsille. Tässä tapauksessa jäykistävän seinän kuorma mielletään pistekuormina, joiden sijainti riippuu kuormaa välittävien seinän osien mittasuhteista. (Romppainen & Löf 2016.) Aukottomien ja aukollisten, tuulikuormaa välittävien seinien toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvioissa 9 ja 10.

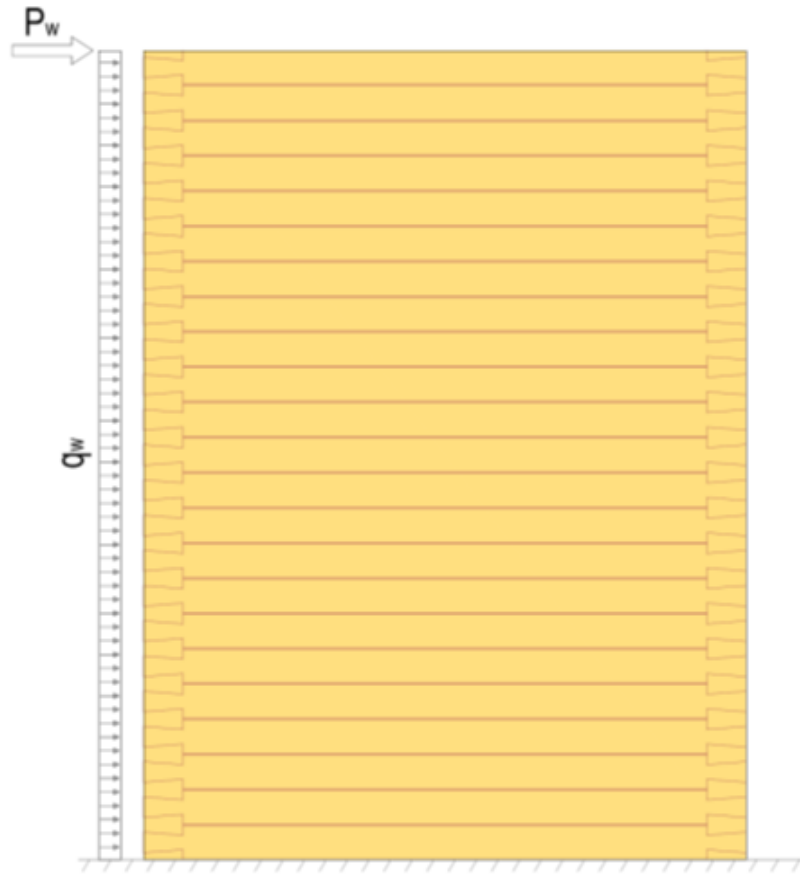


Kuvio 9, Aukoton hirsiseinä tuulikuorman välittäjänä (Romppainen & Löf 2016)



Kuvio 10, Aukollinen hirsiseinä tuulikuorman välittäjänä (Romppainen & Löf 2016)

Jäykistävälle hirsiseinälle ohjautuu tuulikuormaa lisäksi myös kattoprojektiolta, joka kuormittaa seinän yläpäästä pistekuorman omaisesti (Jäykistävän hirsiseinän mitoitusohjelma 2017). Kuviossa 11 on merkattu jäykistävään hirsiseinään kohdistuvat kuormitukset seinän vasemmalle puolelle.

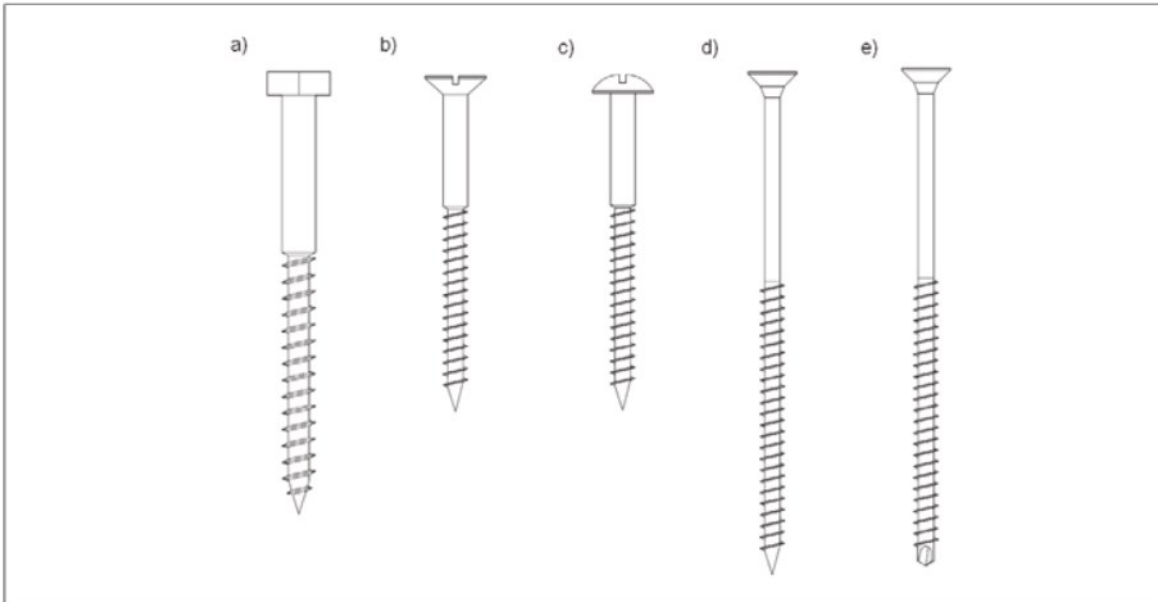


Kuvio 11, Jäykistävän hirsiseinän kuormituskaavio (Jäykistävän hirsiseinän mitoitusohjelma 2017)

5 Jäykistysruuvien leikkauskestävyys

Tässä opinnäytetyössä käytetään ruuvien leikkauskestävyyden määrittämiseen RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohjeen mukaisia yksinkertaistettuja laskentakaavoja, joita voidaan soveltaa ruuveihin, joiden kierteen ulkohalkaisija on suurempi tai yhtä suuri kuin 3,8 millimetriä ja pienempi tai yhtä suuri kuin 24 millimetriä. Lisäksi ruuvien kierteisen osan sisähalkaisijan on oltava välillä 0,6–0,9 kertaa kierteen ulkohalkaisija. (RIL 205-1-2017, 127.)

Ruuvien leikkauskestävyyden määrittämiseen sovelletaan joko pulttiliitosten sääntöjä tai profiloitujen pyöreiden naulojen sääntöjä, riippuen käytettävästä ruuvityypistä ja ruuvien dimensioista. Erilaiset ruuvityypit esitetty kuviossa 12. Ruuvityypit a, b ja c ovat kansiruuveja, d ja e ovat itseporautuvia ruuveja. (RIL 205-1-2017, 128.)



Kuvio 12, Ruuvityypit (RIL 205-1-2017, 128)

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja käyttää yleisruuvia, joten seurataan itseporautuvien ruuvien ohjeita. Itseporautuvien ruuvien ohjeita voidaan soveltaa täyskierteisiin ruuveihin ja osakierteisten osalta sellaisiin ruuveihin, joiden sileän varren paksuus on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,8 kertaa kierteen ulkohalkaisija, mutta suurempi kuin 1,1 kertaa kierteisen osan sisähalkaisija. Leikkauskuormitetun ruuvien kierteisen osan vaikutus kestävyteen huomioidaan käyttämällä ruuville laskennassa tehollista halkaisijaa d_{ef} , joka määritetään itseporautuville puuruuveille kaavalla $d_{ef} = 1,1d_i$, jossa d_i tarkoittaa ruuvien kierteisen osan sisähalkaisijaa. (RIL 205-1-2017, 127–129.)

Ruuvien tehollisen halkaisijan ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 6 millimetriä, käytetään profiloitujen pyöreiden naulojen ohjeita ja tehollisen halkaisijan ollessa suurempi kuin 6 millimetriä käytetään pulttiliitosten ohjeita. (RIL 205-1-2017, 129.) Tässä opinnäytetyössä laskettavan ruuvien tehollinen halkaisija on hieman pienempi kuin 6 millimetriä, joten kestävyys määritetään naulojen ohjeilla.

5.1 Profiloitunut pyöreät naulat

Naulan tunkeumasyvyyden ollessa vähintään 8 kertaa nimellispaksuus kannan puoleisessa puuosassa ja vähintään 12 kertaa nimellispaksuus kärjen puoleisessa puuosassa, naulan ominaisleikkauskestävyys yhtä leikettä kohden lasketaan kaavoista: (RIL 205-1-2017, 111.)

$$R_k = 120d^{1,7} \text{ esiporaamattomassa naulaliitoksessa} \quad (7)$$

$$R_k = 120d^{1,8} \text{ esiporatussa naulaliitoksessa} \quad (8)$$

Ominaisarvo muutetaan mitoitusarvoksi kaavalla:

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_\rho * \begin{cases} k_t \\ k_e \end{cases} * R_k, \text{ jossa} \quad (9)$$

k_{mod} on kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin

γ_M on materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluku

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}, \quad (10)$$

missä ρ_k on puutavaran ominaistiheys. kuitenkin: $k_\rho \geq 1$. Mikäli liitettävillä puuosilla on erisuuriset tiheydet, käytetään kaavassa niistä pienempää arvoa.

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 * \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 * \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{cases} \quad (11)$$

missä t_1 on naulan tunkeuma kannan puoleisessa puuosassa, t_2 on naulan tunkeuma kärjen puoleisessa puuosassa ja d on naulan nimellispaksuus. k_t :lle pätee kuitenkin rajaehto:

$$k_t \leq \sqrt{\frac{M_y}{160d^{2,6}}} \quad (12)$$

$$k_e = \min \begin{cases} \frac{t_1}{8d} \\ \frac{t_2}{12d} \end{cases} \quad (13)$$

Naulan tunkeuman ollessa kannan puoleisessa puussa vähintään 8 kertaa nimellispaksuus ja kärjenpuoleisessa puussa vähintään 12 kertaa nimellispaksuus, käytetään leikkauskestävyyden mitoitusarvon laskentakaavassa korottavaa kerrointa k_t . Pienemmillä tunkeumasyvyyksillä käytetään pienentävää kerrointa k_e . (RIL 205-1-2017, 111–112.)

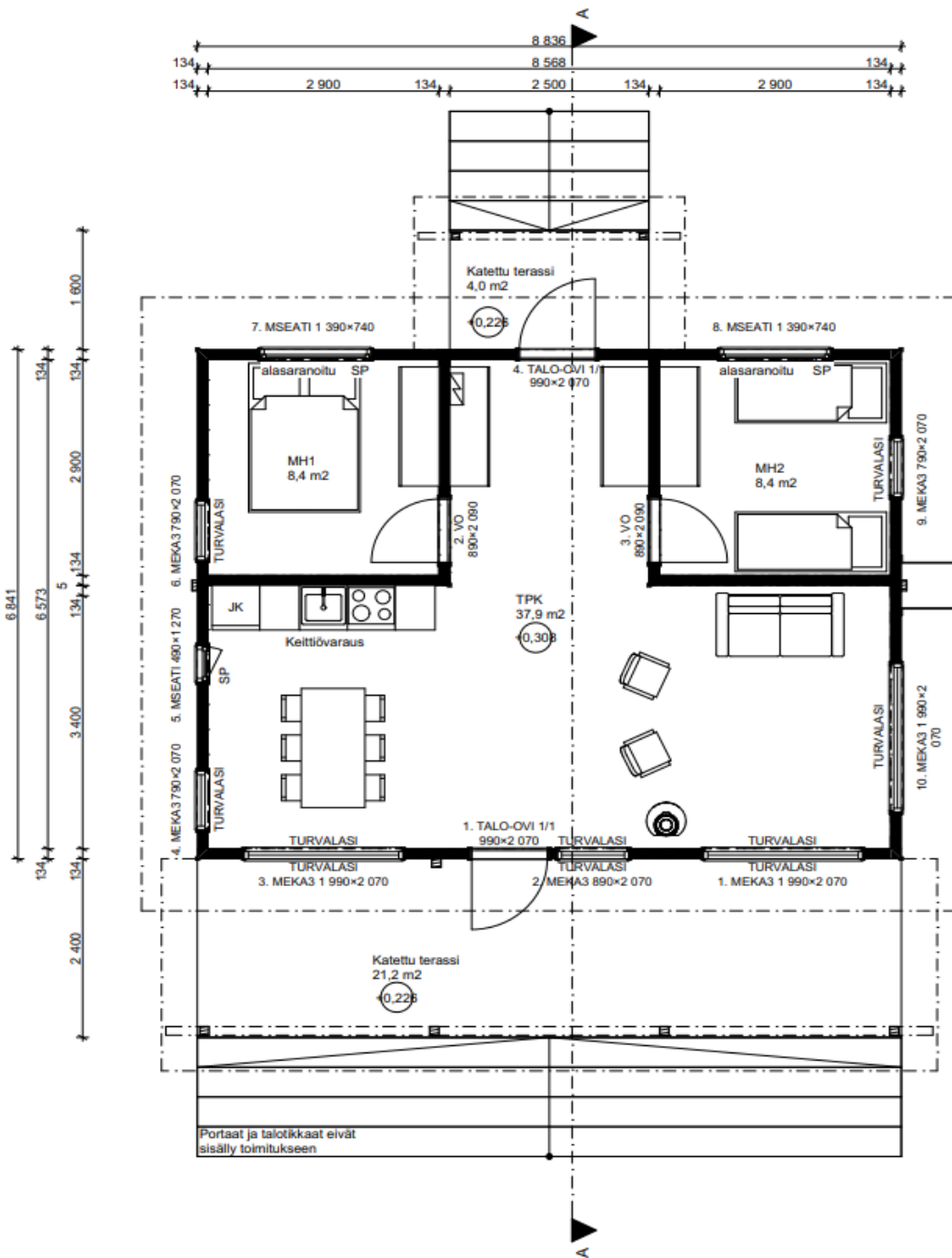
5.2 Heikentävät ja parantavat tekijät

Opinnäytetyössä käsiteltävän liitoksen luonteen vuoksi otettava huomioon ruuvien kapasiteetin laskennassa, myös reunaehdot, jotka on asetettu päätypuuliitoksille. Päätypuuliitoksessa mitoituskestävyyttä tulee pienentää yhteen kolmasosaan. Lisäksi liitoksessa tulee käyttää aina vähintään kolmea naulaa ja naulavälien, sekä reunaetäisyyksien tulee olla vähintään 5 kertaa nimellispaksuus. (RIL 205-1-2017, 114.)

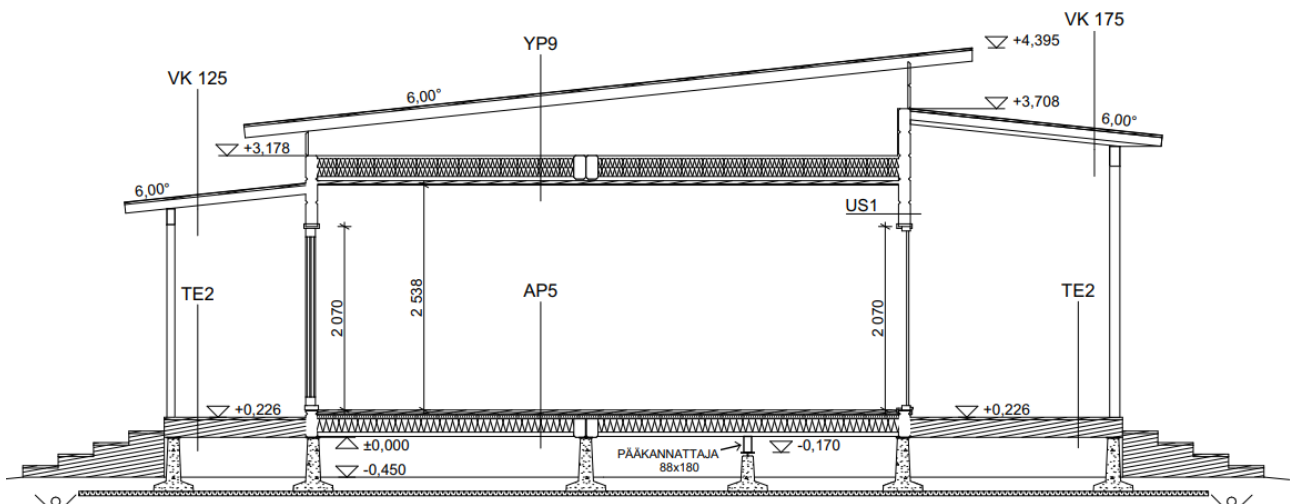
Ruuvien ominaisleikkauskestävyyttä saa korottaa kertoimella 1,15 liitoksissa, joissa ruuvien kierteen pituus kärjen puoleisessa puussa on vähintään 8 kertaa ruuvien tehollinen halkaisija, jos ruuvien kannan alla käytetään aluslevyä pulttiliitoksen ohjeiden mukaisesti. (RIL 205-1-2017, 129.)

6 Laskentaesimerkki

Esimerkki laskentana tehtiin jäykistävien hirsiseinien leikkausmitoitukset noin 60 neliön yksikerroksiseen hirsimökkiin, jonka toimeksiantajayritys rakentaa. Mökki rakennetaan painumattomasta lamellihirrestä, jonka profiili on 134x265.



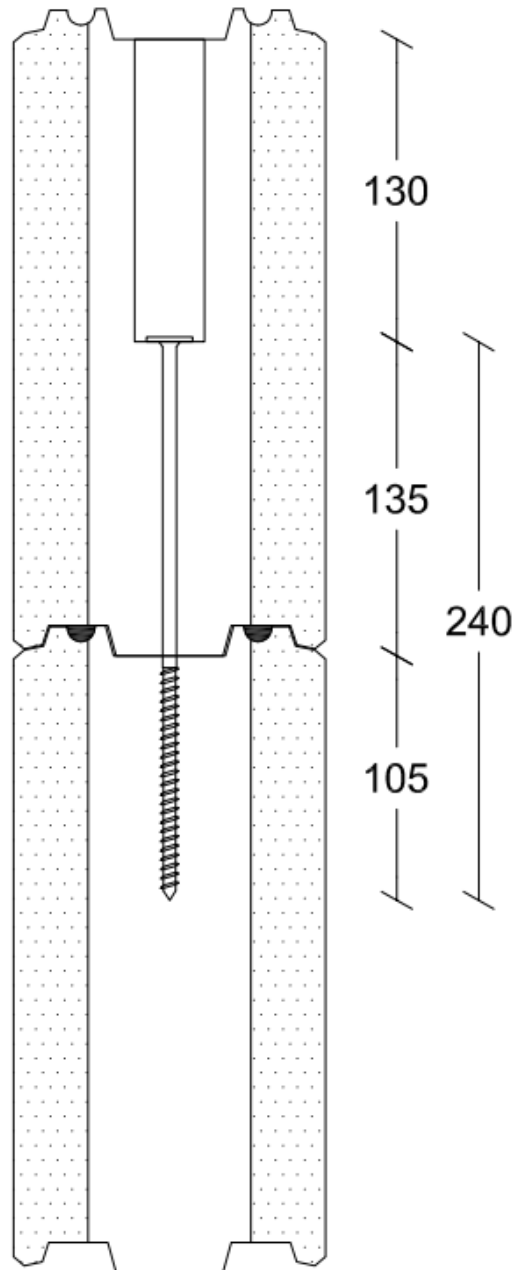
Kuvio 13, Esimerkkikohteen pohjakuva



Kuvio 14, Esimerkkikohteen leikkaus

Rakennuksessa toimii jäykistävinä seininä ulkoseinien lisäksi hirsiset makuuhuoneiden väliseinät B, C, F ja G, jotka on esitetty kuviossa 16. Makuuhuoneiden vaakasuuntaiset seinät ovat ylä- ja alapäästään yhdistettyjä toisiinsa yhtenäisillä hirsillä, joten ne jakavat jäykistyskuormaa keskenään. Hirsisaumojen leikkausrasitus otetaan vastaan hirren päältä asennettavilla pystyruuvauksilla, joita varten hirren yläpintaan on tehty 130 mm syvät varaukset.

Jäykistyksessä käytettävä ruuvi on osakierteinen yleisruuvi StarDrive GPR S-20 8x240. Ruuvissa on 20 mm halkaisijallinen tasakanta. Ruuvit asennetaan esiporaamattomana ja ruuvataan varauksen pohjaan saakka, jolloin ruuvin kärjen puolen tunkeuma alemmassa hirsikerrassa on 105 millimetriä ja ylempään hirteen kannan puolelle jää 135 millimetriä hirttä. Jäykistysratkaisu on tunnettu, mutta tästä tilanteesta erikoisen tekee se, että kahdessa kolmesta toimeksiantajan käytössä olevista painumattomista lamellihirsistä on keskellä pystylamelli ruuvauksen kohdalla. Tästä aiheutuu se, että ruuviliitos on päätypuussa, joka heikentää laskennallista kestävyyttä merkittävästi. Liitos esitetty kuviossa 15.



Kuvio 15, hirsien välinen leikkausliitos

Tässä kappaleessa avataan mitoituksen etenemistä ja laskentaperiaatteita. Koko laskentaesimerkki opinnäytetyön lopussa liitteenä. Laskennassa jokaiselle jäykistävälle seinälle laskettu kuormat, olettaen että kuormia johtavalta seinältä tulee pelkkää metrikuormaa ja jokaiseen hirsikertaan laitetaan saman verran ruuveja, alimman hirsivälin leikkausrasituksella mitoittaen, sillä näin laskien päästään varmalle puolelle ja laskenta pysyy nopeana ja tehokkaana.

6.1 Kuormat ja mitoitusapaukset

Rakennukseen kohdistuvat tuulikuormat lasketaan kohtisuoraan julkisivuprojektioita kohden, jokaisesta suunnasta, jossa projektio on eri suuruinen. Esimerkkikohteessa tuulikuorma laskettu kahdesta suunnasta, kohtisuoraan rakennuksen lyhyempää ja pidempää sivua. Kun tuulikuormat julkisivuprojektioille on laskettu, mietitään mitkä seinät ottavat kussakin tapauksessa vaakakuorman vastaan.

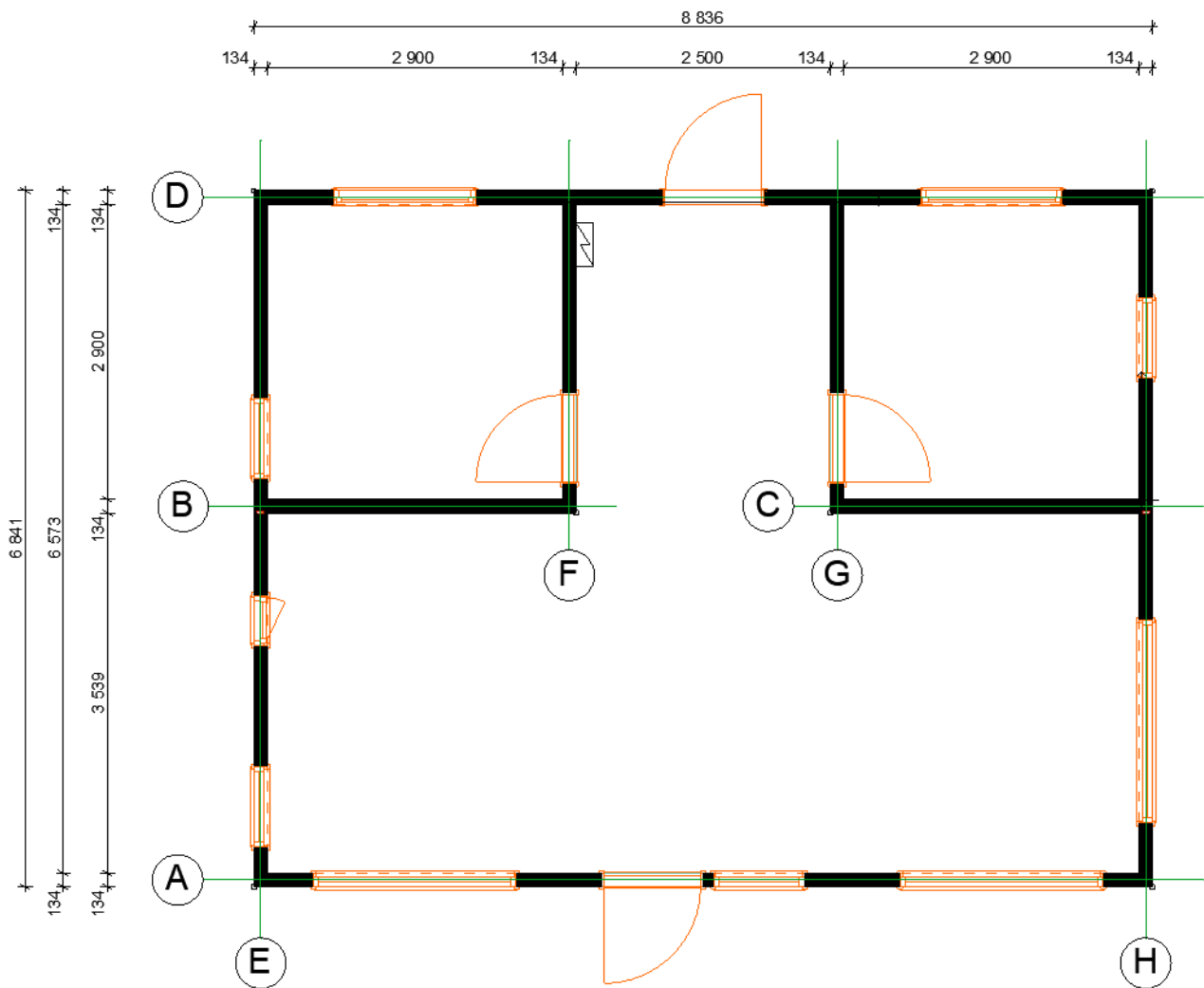
Yksittäiselle jäykistävälle seinälle voi rakenneratkaisuitten mukaan tulla vaakakuormia kahdessa eri mitoitusapauksessa eri suuruinen määrä, joten on laskennallisesti todettava, tai selkeissä tapauksissa etukäteen mietittävä, kumpi tilanne on kyseiselle seinälle mitoittava. Tässä laskennassa sellaisia seiiniä ovat esimerkiksi oikea ja vasen ulkoseinä, joille tulee erisuuruiset vaakakuormat riippuen siitä, kohdistuuko tuuli rakennuksen edestä- vai takaapäin.

Seinään tuulenpaineesta kohdistuva neliökuorma jakautuu jäykistäville hirsiseinille niiden kuormitusalueiden suhteessa. Kuormaa ei oleteta menevän suoraan perustuksille, vaan hirsiseinä välittää kuorman jäykistäville seinille ikään kuin yksi- tai useampi aukkoinen palkki. Mikäli tuulen kuormittama seinä jakaa kuorman vain päistään ulkoseinille, menee molemmille seinille yhtä paljon kuormaa. Jäykistävät väliseinät sen sijaan vastaanottavat kuormaa suuremmalta alueelta ja niiden todellinen kuormitusalue on laskettava joko käsin, tai kuten esimerkkilaskelmassa on hyödynnetty Metsä Groupin Finnwood 2.4.3 puurakenteiden ilmaista mitoitusohjelmaa kuormitusten jakautumisen määrittämisessä. Finnwood laskentaraaportti liitteenä opinnäytetyön lopussa.

6.2 Jäykistysruuvien leikkauskestävyys

Ruuviliitoksen leikkausmitoitus tehtiin tässä laskentaesimerkissä RIL 201-1-2017 yksinkertaistettujen ohjeiden mukaisesti. Käytettävälle ruuville on saatavilla myös ETA lausunto, mutta sen käytölle on asetettu reunaehdot, joita käytettävä liitosratkaisu ei täytä. Lausunnon mukaan liitoksissa, joissa ruuvit asennetaan alle 15 asteen kulmassa syysuuntaan nähden, ruuvien kierteisen osan tunkeuma tulisi olla vähintään 20 kertaa nimellispaksuus (ETA-12/0373, 4). Yksittäisen ruuvien leikkauskapasiteetiksi laskennassa saatiin 0,82 kN, joka on erittäin pieni johtuen siitä, että laskentaohjeet määräävät päätypuuliitoksessa kestävyyttä pienennettävän yhteen kolmasosaan, verrattuna syysuuntaa kohden poikittaiseen liitokseen.

6.3 Seinäkohtaiset ruuvimäärät

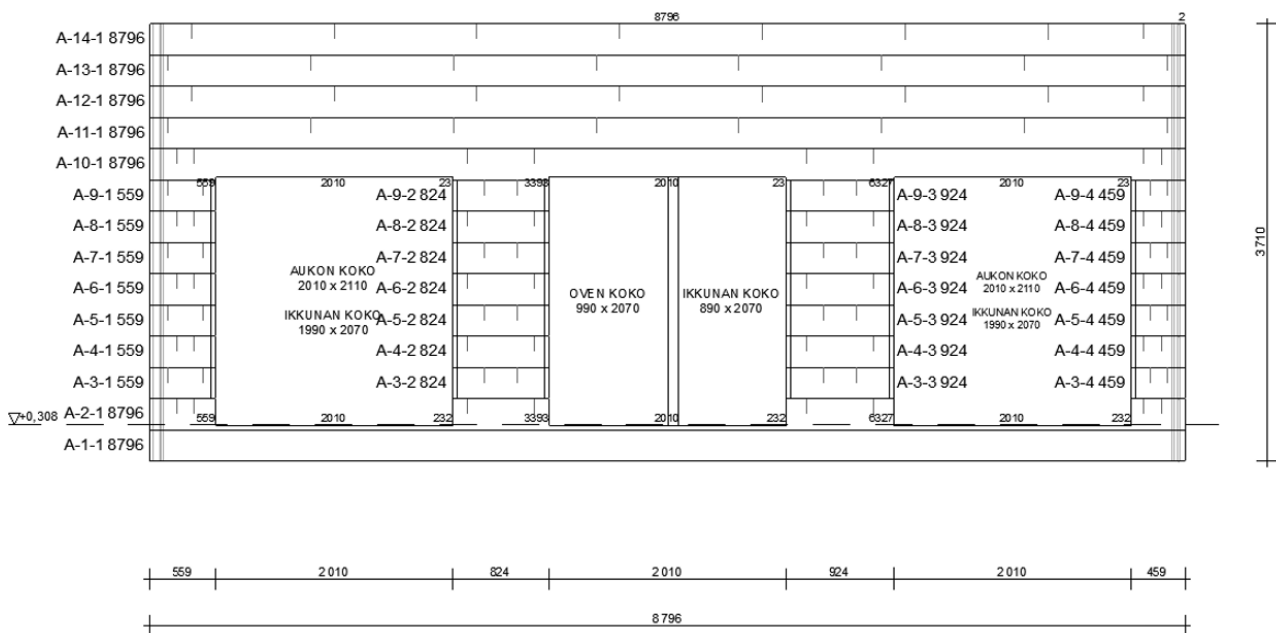


Kuvio 16, Seinätunnukset

Seinätunnus	τ_d	Ruuveja/hirsisauma $R_d = 0,82 \text{ kN}$	Käyttöaste
A	6,3 kN	8	KA: 96 %
B ja C	13,86 kN	17	KA: 99 %

D	4,02 kN	5	KA: 98 %
E ja H	22,79 kN	28	KA: 99 %
F ja G	14,26 kN	18	KA: 97 %

Taulukko 1, Mitoituksen koontitaulukko



Kuvio 17, Ruuvaukset seinäkuvassa

7 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin luotettavaa tietoa käytössä olevasta liitoksesta ja sen ongelmista. Lisäksi tuloksena laskentapohja ja -ohjeet, joiden avulla hirsirakennuksen jokaisen seinän vaadittu ruuvimäärä on helppo määrittää. Tein syksyllä 2023 laskentapohjalla jo laskelmat yhteen omakotitaloon ja yhteen vapaa-ajan rakennukseen, jotka toimeksiantaja yritys rakensi Espooseen. Rakennusvalvonta hyväksyi suunnitelmat ja rakennukset on jo käyttöönotettu.

TUULI RAKENNUKSEN PITKÄÄN SIVUUN:	
Katon korkeus	0,587
Seinän pituus	7 m
Hirsiseinän korkeus (alimman hirren alapinnasta ylimmän hirren yläpintaan)	2,913 m
Risteävien hirsiväliseinien määrä (hox ei ulkoseiniä eikä hirsijäykisteitä)	2 kpl
Hirsiväliseiniä 1	
Etäisyys vasemman ulkoseinän ulkopinnasta väliseinän keskelle	0 m
Etäisyys oikean ulkoseinän ulkopinnasta väliseinän keskelle	7 m
Hirsiväliseiniä 2	
vasemman väliseinän etäisyys vasemman ulkoseinän ulkopinnasta	2 m
väliseinien etäisyys (keskeltä keskelle)	3 m
oikean väliseinän etäisyys oikean ulkoseinän ulkopinnasta	2 m
Hirsiväliseiniä 3	
vasemman väliseinän etäisyys vasemman ulkoseinän ulkopinnasta	0 m
Vasemman ja keskimmäisen väliseinän etäisyys (keskeltä keskelle)	0 m
keskimmäisen ja oikean väliseinän etäisyys (keskeltä keskelle)	0 m
Oikean väliseinän etäisyys oikean ulkoseinän ulkopinnasta	7 m
Jäykistävien seinien kuormat:	
Vasen ulkoseinä: (muuta tähän seinän kirjain tunnus niin ei mene sekaisin)	
Metrikuorma	1,04 kN/m
Pistekuorma yläpäässä	0,92 kN
1. väliseinä vasemmalta luettuna: (muuta tähän seinän kirjain tunnus niin ei mene sekaisin)	
Metrikuorma	2,61 kN/m
Pistekuorma yläpäässä	1,53 kN
2. väliseinä vasemmalta luettuna: (muuta tähän seinän kirjain tunnus niin ei mene sekaisin)	
Metrikuorma	2,61 kN/m
Pistekuorma yläpäässä	1,53 kN
3. väliseinä vasemmalta luettuna: (muuta tähän seinän kirjain tunnus niin ei mene sekaisin)	
Metrikuorma	0,00 kN/m
Pistekuorma yläpäässä	0,00 kN
Oikea ulkoseinä: (muuta tähän seinän kirjain tunnus niin ei mene sekaisin)	
Metrikuorma	1,04 kN/m
Pistekuorma yläpäässä	0,92 kN

Kuvio 18, Excel laskentapohja

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoite oli tarkastella toimeksiantajan jäykistysratkaisua hirsirungon leikkauskestävyyden saavuttamiseksi ja selvittää onko se toimiva, sekä voidaanko ratkaisua parantaa tai optimoida jotenkin. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli luoda mahdollisimman yksinkertaiset ja selkeät laskentaohjeet ja Excel pohjainen laskentaohjelma suunnittelutyön helpottamiseksi.

8.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Onko toimeksiantajan jäykistysratkaisu toimiva?

Vastaus: Pystyryyvyys on toimiva tapa jäykistävän hirsiseinän riittävän leikkauskestävyyden saavuttamiseksi. Tyypillisesti pystyryyvuusta käytetään kuitenkin vaakalamellien kohdalla, jolloin yksittäisen ruuvien laskennallinen leikkauskestävyys on huomattavasti suurempi kuin päätypuuhun ruuvattuna.

Millä tavoin toimeksiantajan jäykistysratkaisua voidaan optimoida säästämään aikaa ja rahaa?

Vastaus: Käytössä olevan ruuviliitoksen todellisen kapasiteetin voisi määrittää virallisin testauksin. Testauksin todistettuja vaarnauksen kestävyksiä on käytössä muillakin hirsitoimittajilla ja sillä tavoin yksittäiselle ruuville saisi suurella todennäköisyydellä korkeamman kestävyden, jota käyttää laskennassa muuttamatta nykyistä ratkaisua. Ruuvien kokonaismäärää voitaisiin myös vähentää laskemalla leikkausjännitys erikseen jokaisessa hirsikerrassa, sillä seinän kuormitus tasaisella kuormalla aiheuttaa suurimman leikkausjännityksen alimpaan hirsisaumaan ja jännitys pienenee seinän yläpäähän päin. Jälkimmäinen ratkaisu hidastaisi suunnittelua huomattavasti, sillä laskennan määrä moninkertaistuisi ja laskenta monimutkaistuisi huomattavasti.

Millä muilla tavoilla jäykistyksen voi toteuttaa?

Vastaus: Hirsiseinät rakennetaan painumattomasta hirrestä. Tämä mahdollistaa vinoruuvausten käyttämisen jäykistämiseen. Vinoruuvauksen jäykistyskestävyys perustuu pelkän liittimen leikkaus-

kestävyyden sijasta lisäksi ruuvin ulosvetokapasiteettiin, joka oikein toteutettuna voi olla tehokkaampi ratkaisu. Leikkauskapasiteetin saavuttamiseksi voidaan myös käyttää teräsvaarvoja, mutta huomioitava että niillä ei saavuteta laskennallista hyötyä ankkuroinnissa.

8.2 Luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyössä noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä. Kaikki tieto perustuu luotettavaksi arvioimiini lähteisiin, jotka on lueteltu lähdeluettelossa. Kaikkiin lähteisiin viitataan tekstiviitteillä, jotka osoittavat mihin lähteeseen kappaleen tai virkkeen tieto perustuu. Opinnäytetyöhön ei ole kerätty tietoa yksityishenkilöiltä haastattelemalla, eikä mitenkään muutenkaan.

Opinnäytetyön pääasialliset lähteet ovat alan suunnitteluohjeita, jotka perustuvat eurooppalaisiin standardeihin. Tietolähteet ovat siis luotettavia ja näin ollen ainoa epäluotettavuus syntyy niitä tulkitessa ja soveltaessa. Opinnäytetyön tulokset ovat esitetty selkeästi ja avoimesti, mitään piilotelematta.

Lähteet

ETA-12/0373. 2017. Schmid screws RAPID, STARDRIVE and SP for use in timber constructions. Vienna: Austrian Institute of Construction Engineering. Viitattu 1.4.2024. https://www.ttfixings.co.uk/wp-content/uploads/2021/09/ETA-12-0373_ElectCopy_en.pdf

Jäykistävän hirsiseinän mitoitusohjelma. 2017. Puuinfo Oy, Viitattu 8.5.2023. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/mitoitustyokalu/jaykistavan-hirsiseinan-mitoitusohjelma/>

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje: eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Romppainen, S. & Löf, M. 2016. PuuNet Teemakoulutus; Hirsirakentamisen uudet ohjeistukset julkiseen rakentamiseen. Hirsitaloteollisuus HTT Ry. Viitattu 8.5.2023. https://www.tts.fi/files/653/PuuNet_teemakoulutus_2.12.2016_Seppo_Romppainen.pdf

RT 82-11168. 2014. Hirsitalon suunnitteluperusteet. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 22.5.2023. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto

Rungon toimintaperiaate. 2020. Puuinfo. Viitattu 18.4.2023. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/rungon-toimintaperiaate/>.

Seinien jäykistys. 2020. Puuinfo. Viitattu 18.4.2023. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinien-jaykistys/>.

Toikko, T & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Tampere: Tampereen yliopistopaino.

Vuolle-Apiala, R. 2012. Hirsitalo ennen ja nyt. Vantaa: Moreeni.

Liitteet

Liite 1. Esimerkkikohteen laskenta

Hirsirungon jäykistys

Einari Pikkarainen

Jäykistävän hirsiseinän vaarnauksen leikkausmitoitus:

Laskettava kohde 60m² yksikerroksinen hirsimökki. Seuraamusluokka CC2, Maastoluokka 2, maaston kaltevuus 0

Rakennuksen dimensiot: 6,841 m x 8,836 m, harjakorkeus Z=4,395 m

$$\text{Tuulikuorma: } F_w = c_s * c_d * c_f * q_p(h) * A_{ref} \quad \text{KAAVA 6}$$

$c_s * c_d = 0$, koska rakennus alle 15 m korkea

$$q_p(h) = q_p(z) = Y_D * q_{p0}(z) = 1,0 * 0,51 \frac{kN}{m^2} = \frac{0,51kN}{m^2} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$c_f, \text{ kun tuuli rakennuksen lyhyeen sivuun: } \lambda = 2 * \frac{h}{b} = 2 * \frac{4,395m}{6,841m} = 1,285$$

$$\frac{d}{b} = \frac{8,836m}{6,841m} = 1,29,$$

$$c_f = 1,21, \quad \text{KUVIO 7}$$

$$c_f, \text{ kun tuuli rakennuksen pitkään sivuun: } \lambda = 2 * \frac{h}{b} = 2 * \frac{4,395m}{8,836m} = 0,995$$

$$\frac{d}{b} = \frac{6,841m}{8,836m} = 0,774,$$

$$c_f = 1,4, \quad \text{KUVIO 7}$$

Koska hirsiseinään kohdistuvasta tuulesta ei oleteta menevän kuormaa suoraan perustuksille, vaan kaikki kuorma menee kuormitusalueiden mukaan jäykistävälle seinille metrikuormana, ei tarvitse laskea julkisivusta "painopistettä" ja laskennassa käytetään voimakertoimella korotettua tuulen painetta.

Kattoprojektiota lasketaan normaalisti kokonaisvoima ja se jakautuu ylimpien hirsien kautta pistekuormana jäykistävien seinien yläpäihin.

$$Q_{W,k} (\text{lyhyeen sivuun}) = 1,0 * 1,21 * 0,51 \frac{kN}{m^2} = 0,62kN/m^2 \quad \text{KAAVA 6}$$

$$Q_{W,k} (\text{pitkään sivuun}) = 1,0 * 1,4 * 0,51 \frac{kN}{m^2} = 0,72kN/m^2 \quad \text{KAAVA 6}$$

Kattoprojektion pinta-ala A_{ref} :

$$\text{pitkän sivun puolelta } A_{ref} = 1,217m * 9,736m = 11,85m^2$$

$$\text{lyhyen sivun puolelta } A_{ref} = 1,217m * 6,841 = 8,4m^2$$

Hirsirungon jäykistys

Einari Pikkarainen

Kattoprojektien kokonaisvoima pitkään sivuun:

$$F_w = 1,0 * 1,4 * \frac{0,51kN}{m^2} * 11,85m^2 = 8,47kN, \quad \text{KAAVA 6}$$

Kattoprojektien kokonaisvoima lyhyeen sivuun:

$$F_w = 1,0 * 1,21 * \frac{0,51kN}{m^2} * 8,4m^2 = 5,19kN, \quad \text{KAAVA 6}$$

Mitoituskuormat: CC2 -> Kfi = 1,0

ainoastaan tuulikuormaa -> korotuskerroin 1,5 MRT

Kuormat lyhyeen sivuun:

$$Q_{w,d} (\text{lyhyeen sivuun}) = 1,5 * \frac{0,62kN}{m^2} = \frac{0,93kN}{m^2}$$

$$F_{w,d} (\text{lyhyeen sivuun}) = 1,5 * 5,19kN = 7,79kN$$

Kuormat pitkään sivuun:

$$Q_{w,d} (\text{pitkään sivuun}) = 1,5 * \frac{0,72kN}{m^2} = \frac{1,08kN}{m^2}$$

$$F_{w,d} (\text{pitkään sivuun}) = 1,5 * 8,47kN = 12,71kN$$

Mitoitettavat tapaukset:

Kun tuulee seinään A, jäykistäviä seiniä ovat: E ja H. Kattoprojektioilta kuormaa menee myös seinille F ja G, mutta se ei ole niille mitoittava tapaus.

Kun tuulee seinään E, jäykistäviä seiniä ovat A, B ja D. Kattoprojektioilta menee kuormaa myös seinälle C, mutta se ei ole sille mitoittava tapaus

Kun tuulee seinään D, jäykistäviä seiniä ovat E, F, G ja H

Kun tuulee seinään H, jäykistäviä seiniä ovat A, C ja D. Kattoprojektioilta menee kuormaa myös seinälle B, mutta se ei ole sille mitoittava tapaus.

SEINÄ A, B, C ja D: Mitoittava tapaus kun tuulee seiniin E tai H

SEINÄ E ja H: Mitoittava tapaus kun tuulee seinään A

SEINÄ F ja G: Mitoittava tapaus kun tuulee seinään D

Laskettavia tapauksia siis 3 kpl.

Hirsirungon jäykistys

Einari Pikkarainen

Tapaus 1: Tuuli kohtisuoraan seinän A

Seinien E ja H kuormat:

$$\text{metrikuorma: } \frac{1,08kN}{m^2} * \frac{8,836m}{2} = \frac{4,772kN}{m}$$

$$\text{Pistekuorma yläpäässä: } \frac{12,71kN}{2} = 6,36kN$$

Seinien E ja H korkeus jolta kuorma tulee, 3,708 m

Leikkausrasitus lasketaan 1. ja 2. hirsikerran välissä, koska se on siellä suurimmillaan.

$$\tau_d = 6,36kN + \frac{4,772kN}{m} * (3,708m - 0,265m) = 22,79kN$$

Tapaus 2: Tuuli kohtisuoraa seinään D

Seinien F ja G kuormat:

$$\text{metrikuorma: } \frac{1,08kN}{m^2} * 3,106m = 3,36kN$$

$$\text{pistekuorma yläpäässä: } 12,71kN * \left(\frac{3,106m}{8,836m}\right) = 4,47kN$$

Seinien F ja G korkeus jolta kuorma tulee, 3,178 m

$$\tau_d = 4,47kN + \frac{3,36kN}{m} * (3,178m - 0,265m) = 14,26kN$$

Tapaus 3: tuuli kohtisuoraa seinään E tai H

kuorma jakautuu seinille A, D ja B tai C, tilanne sama molemmista suunnista, joten ei väliä kumman laskee

Seinän A kuormat:

$$\text{metrikuorma } \frac{0,93kN}{m^2} * 1,445m = \frac{1,35kN}{m}$$

$$\text{pistekuorma yläpäässä: } 7,79kN * \left(\frac{1,445m}{6,841}\right) = 1,65kN$$

seinän korkeus jolta kuorma tulee 3,708 m

$$\tau_d = 1,65kN + \frac{1,35kN}{m} * (3,708m - 0,265m) = 6,3kN$$

Seinän D kuormat:

$$\text{metrikuorma: } \frac{0,93kN}{m^2} * 1,04m = \frac{0,97kN}{m}$$

$$\text{pistekuorma yläpäässä: } 7,79kN * \left(\frac{1,04m}{6,841m}\right) = 1,19kN$$

Seinän korkeus jolta kuorma tulee 3,178 m

$$\tau_d = 1,19kN + \frac{0,97kN}{m} * (3,178m - 0,265m) = 4,02kN$$

Seinien B ja C kuormat:

$$\text{metrikuormat: } \frac{0,93kN}{m^2} * 4,224m = \frac{3,93kN}{m^2}$$

$$\text{pistekuormat yläpäässä: } 7,79kN * \left(\frac{4,224m}{6,841m}\right) = 4,81kN$$

seinien B ja C päällä menee yhtenäinen ylähirsi, joten pistekuorma jakautuu tasan molemmille seinille.

$$\rightarrow \frac{4,81kN}{2} = 2,41kN$$

Seinien korkeus jolta kuorma tulee 3,178 m

$$\tau_d = 2,41kN + \frac{3,93kN}{m} * (3,178m - 0,265m) = 13,86kN$$

Yhden ruuvin leikkauskapasiteetti:

Käytettävä ruuvi: StarDrive GPR S-20 8.0x240, kierteen pituus 100 mm kannan halkaisija 20 mm

itseporautuva yleisruuvi, osakierteinen. Sileän varren halkaisija 6 mm, kierteisen osan sisähalkaisija 5,4 mm, kierteen paksuus 8 mm.

Liitos: Ruuvilla kiinnitetään päällekkäiset hirsikerrat toisiinsa. Ruuvit porataan hirren keskelle tehtyyn 130 mm syvään varaukseen. Ruuvin tunkeuma kärjen puoleisessa puussa 105 mm ja kannan puoleisessa puussa 135 mm. Puuosat ovat kuusta, lujuusluokkaa C18 ja niiden tiheys on 320 kg/m³

Huomioitava että keskilamelli pystyssä -> päätypuuliitos.

Laskenta RIL 205-1-2017 mukaan:

$$d_{ef} = 1,1 * d_i = 1,1 * 5,4mm = 5,94mm$$

$d_{ef} < 6mm$, joten käytetään profiloitujen pyöreiden naulojen ohjeita ja liitokseen ei tarvita esiporausta.

$$R_k = 120d_{ef}^{1,7} N = 120 * 5,94mm^{1,7} = 2480N \quad \text{KAAVA 7}$$

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_{\rho} * \begin{cases} k_t \\ k_e \end{cases} * R_k, \text{ jossa} \quad \text{KAAVA 9}$$

$k_{mod} = 1,1$, (käyttöluokka 2, hetkellinen kuormitus, sahatavara)

$\gamma_M = 1,3$, (liitoksen osavarmuusluku)

$k_{\rho} = 1,0$, koska puutavaran tiheys alle 350kg/m³. (reunaehto min. 1) KAAVA 10

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 * \frac{135mm - 8 * 5,94mm}{8 * 5,94mm} = 1,55 \\ 1 + 0,3 * \frac{105mm - 12 * 5,94mm}{6 * 5,94mm} = 1,284 \end{cases} \quad \text{KAAVA 11}$$

$$\text{kuitenkin, } k_t \leq \sqrt{\frac{22600Nmm}{160 * 5,94mm^{2,6}}} = 1,172 \quad \text{KAAVA 12}$$

$$R_d = \frac{1,1}{1,3} * 1,0 * 1,172 * 2480N = 2,46kN \quad \text{KAAVA 9}$$

Koska kyseessä leikkausmitoitettu päätypuuliitos niin jokaisessa liitoksessa käytettävä vähintään 3 ruuvia ja mitoitusarvo pienennettävä yhteen kolmasosaan.

$$\rightarrow R_d = \frac{2,46kN}{3} = 0,82kN$$

ruuvivälit ja reunaetäisyydet $\min S_d = 5 * 8 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$

Ruuvimäärät:

$$\text{Seinä A: } \frac{\tau_d}{R_d} = \frac{6,3kN}{0,82kN} = 7,68 \rightarrow 8 \text{ ruuvia/hirsikerta, KA:96 \%}$$

$$\text{Seinät B ja C: } \frac{\tau_d}{R_d} = \frac{13,86kN}{0,82kN} = 16,9 \rightarrow 17 \text{ ruuvia/hirsikerta, KA:99 \%}$$

$$\text{Seinä D: } \frac{\tau_d}{R_d} = \frac{4,02kN}{0,82kN} = 4,9 \rightarrow 5 \text{ ruuvia/hirsikerta, KA:98 \%}$$

$$\text{Seinät E ja H: } \frac{\tau_d}{R_d} = \frac{22,79kN}{0,82kN} = 27,79 \rightarrow 28 \text{ ruuvia/hirsikerta, KA:99 \%}$$

$$\text{Seinät F ja G: } \frac{\tau_d}{R_d} = \frac{14,26kN}{0,82kN} = 17,39 \rightarrow 18 \text{ ruuvia/hirsikerta, KA:97 \%}$$

Johtopäätökset laskennasta: Päätypuuliitos on ongelma

Vaihtoehdot: Ruuviliitoksen todellisen kapasiteetin selvittäminen virallisin testauksin, vaihto vinoruuvaukseen, tai leikkauskapasiteetin voi saavuttaa myös teräsvaarnoilla, joka on myös testattava vaihtoehto.

Liite 2. Finnwood laskentaraaportti

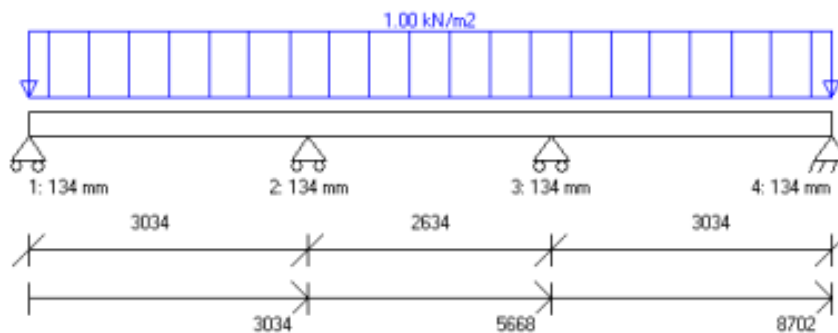
Finnwood 2.4.3 (2.4.090)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

29.4.2024

G 0.05:	293 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)
km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
<hr/>	
Osavarmuusluku:	1.30
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.800



KUORMITUSTIEDOT:

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino: $QZ = 0.174 \text{ kN/m}$ $x = 0 - 8702 \text{ mm}$

Lumikuorma (Lumikuorma $Sk < 2.75 \text{ kN/m}^2$, Keskipitkä):

Pintakuorma: 1: $QZ = 1.000 \text{ kN/m}^2$ $x = 0 - 8702 \text{ mm}$

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Tukipaine, tuki 1:	0.74 kN	40.57 kN	1.8 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.84					
Tukipaine, tuki 2:	1.86 kN	47.99 kN	3.9 %	3034 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.17					
Tukipaine, tuki 3:	1.86 kN	47.99 kN	3.9 %	5668 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.17					
Tukipaine, tuki 4:	0.74 kN	40.57 kN	1.8 %	8702 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.84					
jänneväli 1, Wz,fin:	0.3 mm	– mm	– %	1305 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, Wz,net,fin:	0.3 mm	10.1 mm	3.4 %	1305 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, Wz,fin:	-0.0 mm	– mm	– %	3335 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, Wz,net,fin:	-0.0 mm	8.8 mm	0.1 %	3335 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 3, Wz,fin:	0.3 mm	– mm	– %	7397 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 3, Wz,net,fin:	0.3 mm	10.1 mm	3.4 %	7397 mm	Yhdistelmä 13/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Lumikuorma

Yhdistelmä 13/1 :

1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuorma

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	1.07 kN	5668 mm
My,max	0.49 kNm	5668 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	0.74 kN	0.20 kN	0.55 kN	0.22 kN
2:	1.86 kN	0.49 kN	1.36 kN	0.54 kN
3:	1.86 kN	0.49 kN	1.36 kN	0.54 kN
4:	0.74 kN	0.20 kN	0.55 kN	0.22 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.22
2:	0.54
3:	0.54
4:	0.22

Kuormitustapaus:	Lumikuorma
Tuki:	FZ [kN]: