



Matias Stenudd

PIENTALON JÄYKISTÄVIEN PYSTYRAKENTEIDEN VERTAILU EXCEL-OHJELMAN AVULLA

**PIENTALON JÄYKISTÄVIEN PYSTYRAKENTEIDEN VERTAILU
EXCEL-OHJELMAN AVULLA**

Matias Stenudd
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Matias Stenudd

Opinnäytetyön nimi: Pientalon jäykistävien pystyrakenteiden vertailu Excel-ohjelman avulla

Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 33 + 1 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli laatia esimerkkilaskelma sekä Excel-ohjelma pientalon jäykistävien pystyrakenteiden vertailuun. Työn tavoitteena oli laatia Svapa Oy:lle helppokäyttöinen Excel-ohjelma, jolla voidaan helposti laskea ja vertailla yksinkertaisen pientalon pystyrakenteiden eri jäykistystapoja ja jonka avulla pystytään valitsemaan pientaloon oikeanlaiset jäykistävät rakenteet jo suunnittelun alkuvaiheessa.

Työ aloitettiin tutustumalla aihetta käsitteleviin teoksiin, määräyksiin, standardeihin sekä esimerkkilaskelmiin. Työlle valittiin sopiva esimerkkikohde, johon mitoitettiin Mathcad-ohjelmalla jäykistävät rakenteet. Esimerkkilaskelman pohjalta laadittiin selkeä ja helppokäyttöinen Excel-ohjelma. Työ tehtiin suurimmalta osin RIL 205-1-2009 -julkaisun ohjeita sekä eri levyvalmistajien tyyppihyväksyntöjä noudattaen.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin helppokäyttöinen toimiva Excel-ohjelma, joka laskee pientalon levyjäykistykseen tarvittavat liitinvälit ja niiden käyttöasteet halutuilla levyliitin-yhdistelmillä. Laskelmissa käytetään levyjäykistykseen Gyproc GTS 9- ja Knauf KXT 9 -tuulensuojakipsilevyjä, Suomen Kuitulevy Oy:n Runkoleijona ja Tuulileijona huokoisia tuulensuojalevyjä sekä 9 mm:n vanerilevyä. Ohjelma laatii levyjäykistykseen tuloksista selkeän vertailutaulukon, josta näkee nopeasti, minkälaisella levyliitin-yhdistelmällä rakennus on mahdollista jäykistää. Tulevaisuudessa ohjelmaa on tarkoitus laajentaa kattamaan myös 2-kerroksisia sekä monimuotoisempia rakennuksia. Myös jäykistävän väliseinän mitoitus sekä jäykistävien seinien ankkurointi on tarkoitus lisätä ohjelmaan tulevaisuudessa.

Asiasanat: jäykistys, levyjäykistys, Excel, eurokoodi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Matias Stenudd

Title of thesis: Comparison of Stiffening Vertical Structures of Detached House with Help of Excel Program

Supervisor: Mr. Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013

Pages: 33 + 1 appendices

The subject of the thesis was to create an example calculation and Excel program for the comparison of the vertical structures which stiffen a detached house. The objective of the work was to create an easy-to-use Excel program to Svapa Ltd with which the different stiffening ways of the vertical structures of a simple detached house can be calculated and easily compared. The program also helps to choose the correct stiffening structures into a detached house already at the first stage of the design.

The work was begun by becoming acquainted with works, regulations, standards and example calculations which deal with the subject. A suitable example target was chosen for the work in which the stiffening structures were dimensioned with a Mathcad program. Based on the example calculation a clear and easy-to-use Excel program was drawn up. The work was done by following the instructions of the standards and the different board manufacturers' type approvals.

The result of this thesis is a handy Excel program which calculates the connector spaces required for the board stiffening of a detached house. The program also calculates their utilization rates on the desired board-connector combinations. In the calculations wind shield boards by Gyproc, Knauf, Runkoleijona and Tuulileijona are the used products and a plywood board. The program draws up a clear comparison table of the results of the board stiffening from which it is fast seen what kind of a board-connector combination it is possible to stiffen the building with. In the future it is intended to extend the program to cover bigger and more multiform buildings also. It is intended to be able to calculate the anchorage of the stiffening walls also with the program in the future.

Keywords: stiffening, diaphragm, Excel, Eurocode

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 RAKENNUKSIEN JÄYKISTYS	7
2.1 Rakennuksien jäykistysperiaatteet	7
2.2 Pientalojen jäykistys	8
2.2.1 Koko rakennuksen jäykistyksen toimintaperiaate	8
2.2.2 Yksittäisten komponenttien jäykistys	9
3 JÄYKISTYKSEN MITOITUS	10
3.1 Vaakakuormien laskenta	10
3.1.1 Rajatilamitoitus	10
3.1.2 Tuulikuorman laskenta	11
3.2 Jäykistyskuormien laskenta	12
3.2.1 Poikkisuuntaisten seinien jäykistyskuorman laskenta	13
3.2.2 Pituussuuntaisten seinien jäykistyskuorman laskenta	13
3.3 Levyjäykistyksen mitoitus	14
3.3.1 Levyjäykistys vanerilevyllä	14
3.3.2 Levyjäykistys Gyproc GTS 9 -tuulensuojakipsilevyllä	16
3.3.3 Levyjäykistys Knauf KXT 9 -tuulensuojakipsilevyllä	17
3.3.4 Levyjäykistys Runkoleijona- ja Tuulileijona-tuulensuojalevyillä	18
3.4 Jäykistystapojen mitoitusten vertailu	20
3.5 Jäykistysseinän ankkurointi	21
4 TULOSTEN ESITTELY	23
4.1 Jäykistystapojen vertailu esimerkkikohteessa	25
4.2 Excel-ohjelman esittely	26
5 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	
Liite 1 Esimerkkilaskelma	

1 JOHDANTO

Puurunkoisten pientalojen jäykistys toteutetaan yleensä levyjäykistyksellä. Jäykistävien ulko- ja väliseinien sekä jäykistävän yläpohjan tehtävinä on siirtää ulkoiset vaakakuormat perustuksille. Pientalon jäykistyksen mitoitus ei ole yksinkertainen tehtävä, minkä vuoksi useat rakennesuunnittelijat herkästi ylivoimittavat levyjäykistykseen tarvittavat liittimien tyypit ja liitinvälit.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutustua yksinkertaisen esimerkin avulla puurakenteisen pientalon pystyrakenteiden eri jäykistystapojen mitoitukseen sekä vertailla saatuja tuloksia. Tarkoituksena on mitoitaa samaan kohteeseen pystyrakenteiden jäykistys Gyproc Oy:n sekä Knauf Oy:n tuulensuojakipsilevyillä, Suomen Kuitulevy Oy:n tuulensuojalevyillä sekä vanerilevyillä.

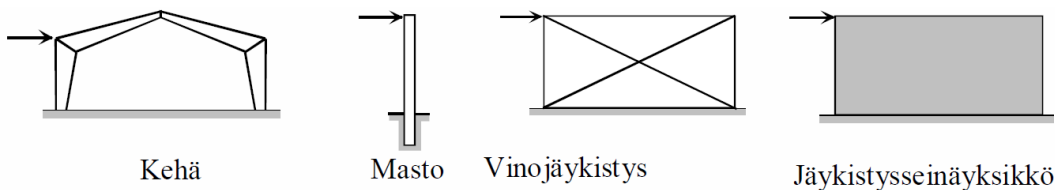
Lisäksi tarkoituksena on laatia mitoituksesta Excel-ohjelma, jota voidaan käyttää myöhemmin jäykistysten mitoituksessa. Ohjelman tuloksena saadaan levyjäykistystä mitoitettaessa levyjen kiinnityksessä käytettävän liittimen tyyppi sekä liitinjako. Excel-ohjelmaa voidaan myöhemmin päivittää käsittämään myös kaksois- ja monimuotoisempia rakennuksia. Lisäksi ohjelmaan on mahdollista myöhemmin lisätä eri valmistajien levyjä ja liittintyyppejä.

2 RAKENNUKSIEN JÄYKISTYS

Rakennuksen kokonaisjäykistyksellä tarkoitetaan stabiiliuden säilyttämiseen tarvittavia toimenpiteitä ja rakennusrunkoon kohdistuvien ulkoisten kuormien siirtämistä perustuksiin ja siitä edelleen maaperään. Kokonaisjäykistyksestä tulee huolehtia sekä työaikana että valmiissa rakennuksessa. Tavallisesti jäykistyskuormia aiheuttavat tuentavoimat, tuuli, rakenteiden vinous ja pystykuormien epäkeskisyys. (1, s. 9.)

2.1 Rakennuksien jäykistysperiaatteet

Rakennuksien jäykistykseen käytetään nykyisin Suomessa neljää eri tapaa. Pystyrakenteiden eri jäykistystavat näkyvät kuvassa 1. Mastojäykistyksessä rakennuksen kantava runko on pilari-palkkirakenteinen. Vaakasuuntainen rakenne, eli palkki tai kattoristikko tukeutuu mastopilareihin nivelellisesti. Mastopilarit on kiinnitetty momenttijäykästi perustuksiin, jolloin pilarit siirtävät osana kehää kuormat perustuksille. Pituussuuntainen jäykistys voidaan toteuttaa esimerkiksi vetotangoilla tai mastopilareilla. Mastojäykistystä käytetään yleisesti teollisuusrakennuksissa. (1, s. 9.)



KUVA 1. Esimerkkejä pystyjäykisteistä (2, s. 19)

Kehäjäykistyksessä rakennus jäykistetään pilarin ja kattorakenteen välille tehtävän momenttijäykän liitoksen avulla. Tavallisesti puukehiä käytetään vain tuulikuormien vastaanottamiseen, sillä suuremmilla kuormilla, kuten nosturien jarrukuormilla, nurkkaliitoksen koko saattaa kasvaa hyvinkin suureksi. Yleisesti kehäjäykistystä käytetään yksikerroksisissa teollisuusrakennuksissa. (2, s. 19.)

Ristikkojäykistyksessä eli vinojäykistyksessä rakennus jäykistetään tavallisesti ristikkäin asennetuilla vedetyillä terästangoilla, jotka asennetaan pilareiden ja kattopalkkien väliin. Ristikkäin asennettaessa toinen tanko toimii tietynsuuntai-

selle kuormalle ja toinen taas vastakkaissuuntaiselle kuormalle. Vinojäykistystä käytetään tavallisesti hallirakennuksissa. (2, s. 20.)

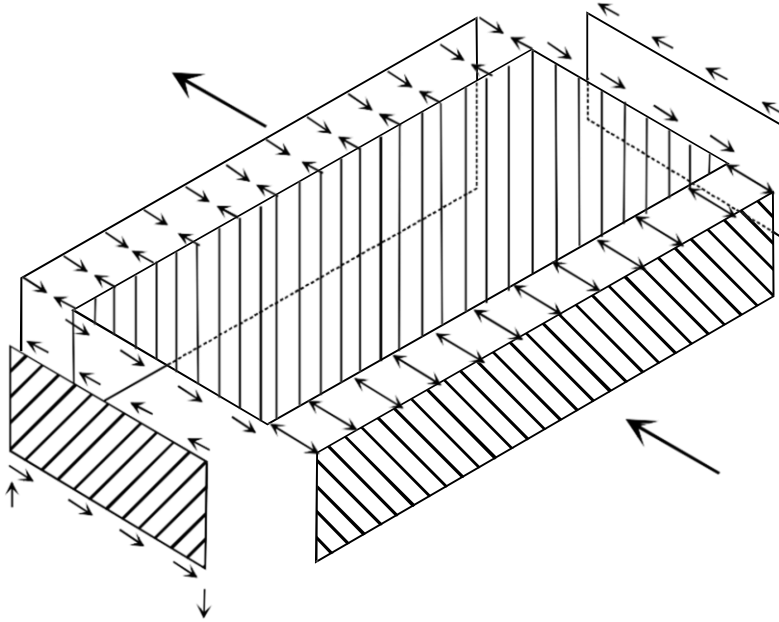
Levyjäykistyksessä rakennuksen seinä- ja yläpohjarakenteista muodostetaan levyjä. Vaakakuormat siirtyvät seinistä yläpohjaan ja sitä kautta pääty- tai sivuseinien kautta perustuksille. Tässä jäykistystavassa pilarit voivat olla nivelellisesti kiinnitettynä perustuksiin. Yleisesti levyjäykistystä käytetään pienehköissä hallirakennuksissa sekä pientaloissa. (1, s. 9–10.)

2.2 Pientalojen jäykistys

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pientalojen jäykistykseen. Pientalojen jäykistystapana on lähes poikkeuksetta levyjäykistys. Jäykistävät levyt sijaitsevat rakennusrungon ulko- tai sisäpinnassa, mahdollisesti välipohjassa ja yläpohjan alapinnassa. Levyjäykistys toimii sekä pituus- että poikkisuuntaisena jäykistysenä.

2.2.1 Koko rakennuksen jäykistymisen toimintaperiaate

Pientalon jäykistymisen mitoituksessa otetaan huomioon pelkästään tuulesta aiheutuva vaakakuorma. Tuulikuorman vaikuttaessa rakennuksen sivuseinään kuormasta puolet siirretään seinän alaosan kautta suoraan perustuksille. Puolet sivuseinän kuormasta sekä kokonaan kattolappeeseen vaikuttava kuorma siirretään jäykistävälle vaakarakenteelle, eli ylä- tai välipohjalle, joiden kautta kuormat siirtyvät päätyseinien yläosaan. Päätyseinässä kuorma siirtyy jäykistysrakenteiden kautta perustuksille. Tässä tapauksessa voimia siirtävänä rakenteena toimii palkkirakenteena toimiva jäykkä väli- tai yläpohja. Kuvassa 2 on periaatekuva vaakakuormien siirtämisestä perustuksille. (2, s. 11–12.)



KUVA 2. Periaatekuva vaakakuormien siirtämisestä perustuksille (2, s. 11)

Tuulikuorman vaikuttaessa rakennuksen päätyseinään jäykistävän yläpohjan alapuolelle jäävästä kuormasta puolet siirretään seinän alaosan kautta suoraan perustuksille. Puolet jäykistävän yläpohjan alapuolelle jäävästä kuormasta sekä kaikki jäykistävän yläpohjan yläpuolella olevat kuormat siirretään jäykistävän yläpohjan kautta rakennuksen sivuseinien yläosaan. Sivuseinässä kuorma siirretään sivuseinissä olevien jäykistysrakenteiden kautta perustuksille. (2, s. 12.)

2.2.2 Yksittäisten komponenttien jäykistys

Yksittäisten komponenttien jäykistyksessä estetään stabiiliuden menettäminen komponenteissa. Tämä voidaan tehdä joko tekemällä komponentista vahvempi rakenne tai tukemalla komponentti muihin rakenteisiin siten, että kokonaisuudesta tulee riittävän jäykkä. Yksittäisten komponenttien jäykistyksessä kuormia ei tarvitse viedä perustuksille saakka. (2, s. 12.)

3 JÄYKISTYKSEN MITOITUS

Pientalon jäykistyksen mitoituksessa tulee aluksi laskea rakennukseen vaikuttavat ulkoiset vaakakuormat, jotka muutetaan jäykistäviin seiniin vaikuttaviksi jäykistyskuormiksi. Levyjäykistystä mitoittaessa jäykistävän seinän vaakaleikkausvoimakestävyys arvo mitoitetaan vanerin osalta RIL 205-1-2009 -ohjeiden mukaan. Kipsilevyjä ja huokoisia puukuitulevyjä käytettäessä tulee seinän vaakaleikkausvoimakestävyys arvot mitoittaa kyseisen levyn tyyppihyväksynnän mukaan.

3.1 Vaakakuormien laskenta

Pientalon jäykistyksen mitoituksessa tarvitaan aluksi kokonaistuulikuorma. Kokonaistuulikuorma lasketaan kokonaisvoimakertoimen tai pintapaineiden avulla eurokoodiin ja sen kansallisiin liitteisiin perustuvien ohjeiden RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat (3, s. 119–167) sekä RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje mukaan (4, s. 38–41).

Pientaloon vaikuttavat vaakakuormat ovat pääsääntöisesti tuulikuormia. Vaakakuormat lasketaan kahdelle eri tapaukselle. Ensimmäisessä tapauksessa kuorma tulee kohtisuoraan päätyseinää vasten ja toisessa kohtisuoraan sivuseinää vasten. Pystykuormista aiheutuvia lisävaakavoimia ei tarvitse puupientaloissa ottaa huomioon.

3.1.1 Rajatilamitoitus

Jäykistävään vaakatasoon vaikuttava kuorma lasketaan murtorajatilan kuormitusyhdistelyllä kaavalla 1 (4, s. 25).

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 1}$$

K_{FI} = RIL 205-1-2009 taulukon 2.1 mukainen seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin

G_{kj} = pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ = määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$ = muun muuttuvan kuorman ominaisarvo

$\Psi_{0,i}$ = RIL 205-1-2009 taulukossa 2.2 esitetty muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Jäykistävään vaakatasoon vaikuttavassa kuormassa on mukana ainoastaan tuulikuorma, joka on määräävä muuttuva kuorma. Tällöin pysyvät kuormat ja muut muuttuvat kuormat voidaan jättää huomioimatta, jolloin kaava 1 sievenee muotoon (kaava 2):

$$1,5 * K_{F1} * Q_{k,1}$$

KAAVA 2

3.1.2 Tuulikuorman laskenta

Rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoituksessa käytetään tuulikuormaa laskettaessa yksinkertaistettua menettelyä. Tällöin kokonaistuulikuorman ominaisarvon suuruuteen vaikuttaa rakenteen voimakerroin, maastoluokan mukaan määritetty rakenteen korkeutta vastaava tuulen nopeuspaine ja rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala. (4, s. 38–39.)

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo voidaan laskea kaavalla 3, kun rakennuksen korkeus on enintään 15 metriä, rakennuksen seinät ovat kantavia ja rakennuksen leveys on kaikilta kohdilta suurempi kuin neljäsosa rakennuksen korkeudesta. Myös erillisen seinämän alimman ominaisarvon tulee olla pienempi kuin 5 Hz. Suurin osa pientaloista täyttää nämä vaatimukset. (4, s. 38.)

$$F_{w,k} = c_f * q_k(h) * A_{ref}$$

KAAVA 3

$F_{w,k}$ = kokonaistuulikuorman ominaisarvo

c_f = rakenteen voimakerroin RIL 205-1-2009 taulukosta 2.7 tai RIL 201-1-2011 taulukosta 5.2S

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine RIL 205-1-2007 kuvasta 2.6S tai RIL 201-1-2011 taulukosta 4.2S

A_{ref} = rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala ($b * h$)

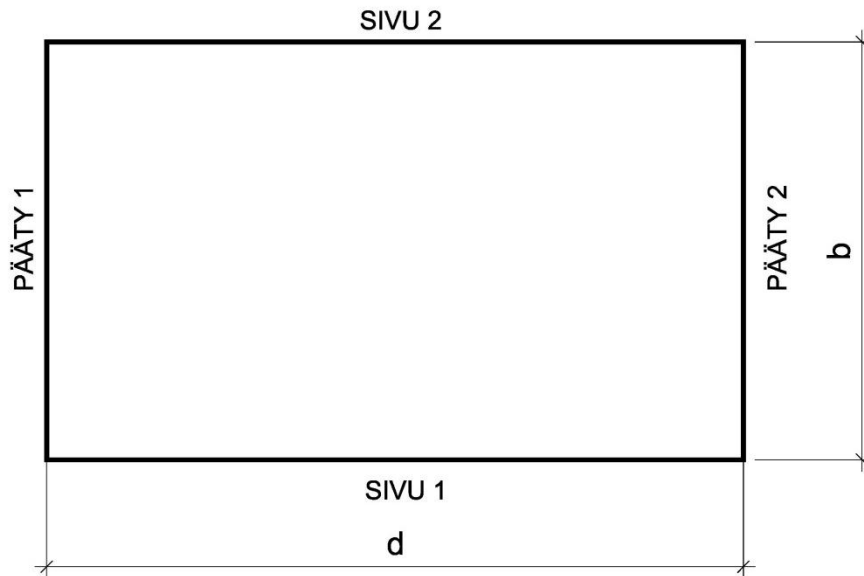
Tässä opinnäytetyössä käytetään termeille c_f ja $q_k(h)$ RIL 201-1-2011:n arvoja. Kokonaistuulikuorman ominaisarvo saadaan muutettua mitoitusarvoksi kaavalla 4, yhdistämällä kaava 3 kaavan 2 kanssa.

$$F_{w,d} = 1,5 * K_{FI} * F_{w,k}$$

KAAVA 4

3.2 Jäykistyskuormien laskenta

Jäykistyskuormat tulee laskea erikseen pääty- ja pituussuuntaisille seinille, sekä jäykistävälle väliseinille. Kuvassa 3 on periaatekuva rakennuksesta ilman jäykistäviä väliseiniä.



KUVA 3. Periaatteellinen pohjapiirros

Jäykistyskuormien laskennassa kaavaa 3 muokataan siten, että rakennukseen vaikuttava kokonaistuulikuorma muutetaan yläpohjatasoon kohdistuvaksi viivakuormaksi. Tämän viivakuorman ominaisarvo saadaan laskettua kaavalla 5. (5, s. 72.)

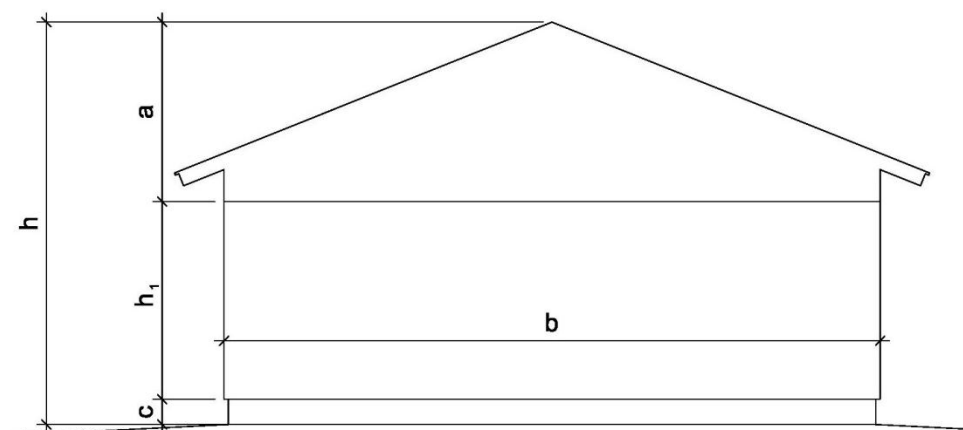
$$W_k = c_f * q_k(h) * (a + h_1/2)$$

KAAVA 5

a = yläpohjatasoin yläpuolisen osan korkeus kuvasta 4

h_1 = yläpohjatasoin alapuolisen osan korkeus kuvasta 4

Kuvassa 4 on rakennuksen päätyseinän periaatekuva, josta näkyy kaavaan 5 vaadittavat apusuureet.



KUVA 4. Päätyseinän periaatekuva

Yläpohjatasoon kohdistuvan viivakuorman ominaisarvo saadaan muutettua mitoitussarvoksi kaavalla 6.

$$W_d = 1,5 * K_{Fl} * W_k \quad \text{KAAVA 6}$$

3.2.1 Poikkisuuntaisten seinien jäykistyskuorman laskenta

Päätyseiniin kohdistuvan jäykistekuorman mitoitussarvoa laskettaessa tulee huomioida mahdolliset poikkisuuntaiset jäykistävät väliseinät. Jäykistävien väliseinien epäkeskisyyden ja erilaisen jäykkyyden takia jäykistekuormat ovat erisuuruiset rakennuksen eri päädyissä.

Jäykistekuormia laskettaessa kuvan 3 mukaiselle rakennukselle saadaan päätyseinien jäykistekuorma laskettua kaavalla 7. Jäykistekuormat ovat samansuuruiset rakennuksen molemmissa päissä.

$$F_{v,Ed,pääty} = W_d * (d/2) \quad \text{KAAVA 7}$$

3.2.2 Pituussuuntaisten seinien jäykistyskuorman laskenta

Pientaloissa ei yleensä käytetä rakennuksen pituussuuntaisia jäykistäviä väliseiniä. Tällöin sivuseinien jäykistekuormat ovat samansuuruisia rakennuksen molemmilla sivuilla. Sivuseinien jäykistekuorma saadaan laskettua kaavalla 8.

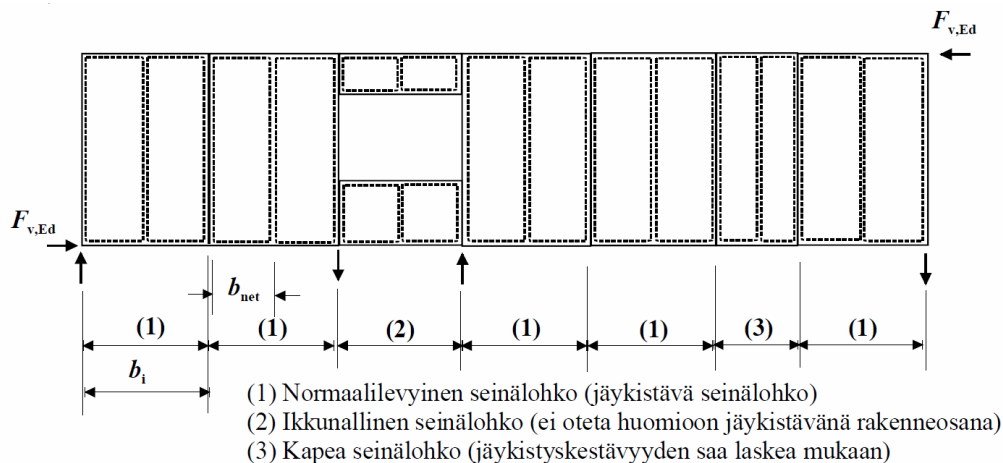
$$F_{v,Ed,sivu} = W_d * (b/2) \quad \text{KAAVA 8}$$

3.3 Levyjäykistykseen mitoitus

Jos jäykistelevyinä käytetään vaneria, voidaan levyjäykistys mitoittaa RIL 205-1-2009:n mukaan. Mikäli jäykistävinä levyinä käytetään huokoisia kuitulevyjä, kipsilevyjä tai muita kuin puulevyjä, tulee jäykistysseinät mitoittaa levyn tyyppi- ja väksynnän ohjeiden mukaan. Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan levyjäykistys Gyproc Oy:n ja Knauf Oy:n tuulensuojakipsilevyillä, Suomen Kuitulevy Oy:n tuulensuojalevyillä sekä vanerilevyillä. (4, s. 148.)

3.3.1 Levyjäykistys vanerilevyillä

Vanerilevyillä jäykistettäessä voidaan mitoitus tehdä RIL 205-1-2009 -ohjeiden mukaan. Julkaisussa esitettyä jäykistysseinän laskennan yksinkertaistettua analyysia voidaan käyttää, kun seinän alajuoksu on ankkuroitu perustuksiin jokaisen jäykistävän osaseinän päästä tai vähintään jokaisen jäykistävän levyn kohdalta. Tavanomaisilla levyillä tämä tarkoittaa 1200 mm:n väliä. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo voidaan määrittää tällä menetelmällä, kun seinässä on yksi tai useampi seinälohko, joiden levyt on kiinnitetty puurungon toiselle puolelle. Myös liitinvälin tulee olla vakio levyn reunoilla ja levyjen leveys tulee olla vähintään $h/4$. Kuvassa 5 on jäykistysseinä, johon kuuluvat normaalilevyinen seinälohko, ikkunallinen seinälohko sekä muita kapeampi seinälohko, jonka leveys on vähintään $h/4$. Ovi- tai ikkuna-aukolliset seinälohkot eivät lisää seinän vaakaleikkausvoimakestävyyttä, mutta niillä voidaan siirtää kuormia. (4, s. 148–150.)



KUVA 5. Esimerkki kaksiosaisesta seinästä, johon kuuluu ikkunallinen ja muita kapeampi seinälohko (4, s. 150)

Seinän koostuessa useasta seinälohkosta, saadaan koko seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo kaavoista 9 ja 10 (4, s. 149).

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad \text{KAAVA 9}$$

$F_{v,Rd}$ = seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$F_{i,v,Rd}$ = seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo kaavan 10 mukaan

$$F_{i,v,Rd} = F_{f,Rd} * b_i * c_i / s \quad \text{KAAVA 10}$$

$F_{f,Rd}$ = yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo kaavasta 12

b_i = seinälohkon leveys

s = liitinväli

$c_i = 1$, kun $b_i \geq h/2$ tai $2 * b_i / h$, kun $b_i < h/2$, missä h on seinän korkeus

Vanerilevyjä kiinnitettäessä käytetään liittiminä useimmiten nauloja. Yksittäisen naulan leikkausvoimakestävyyden ominaisarvo kiinnitettäessä havuvaneria saadaan kaavasta 11, kun naulan tartuntapituus puutavarassa on vähintään $12 * d$, jossa d on naulan halkaisija. (4, s. 107.)

$$F_{f,Rk} = 120 * d^{1,7} * (0,6 + t/9d) * k_p \quad \text{KAAVA 11}$$

$F_{f,Rk}$ = yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyyden ominaisarvo

d = naulan halkaisija

t = levyn paksuus

k_p = naulan kärkipuolen puun tiheyden mukaan laskettu kerroin $\sqrt{(\rho_k/350)}$

Liittimen leikkausvoimakestävyyden ominaisarvosta saadaan mitoitusarvo kaavalla 12 (4, s. 107).

$$F_{f,Rd} = k_{mod} / \gamma_M * F_{f,Rk} \quad \text{KAAVA 12}$$

k_{mod} = liitospuun aikavaikutuskerroin RIL 205-1-2009 taulukosta 3.1

γ_M = liitospuun materiaaliosavarmuusluku RIL 205-1-2009 taulukosta 2.10

Mikäli naulan tunkeuma liitospuuhun on pienempi kuin $12 \cdot d$, mutta suurempi kuin $8 \cdot d$, pitää naulan leikkauskestävyys kertoa luvulla $t_2/12d$, missä t_2 on naulan tunkeuma. Liitinvälissä tulee huomioida, että keskitolpassa liitinväli saa olla enintään kaksinkertainen reunan liitinväliin verrattuna, mutta enintään 300 mm. Reunalla nauvoja käytettäessä liitinväli on enintään 150 mm ja ruuveja käytettäessä enintään 200 mm. (4, s. 107;151.)

Levyjäykistystä mitoittaessa tulee jäykistävän seinän täyttää kaavan 13 mukainen mitoitusehto:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

KAAVA 13

Jäykistysseinän laskennassa yksinkertaistetun analyysin sijaan voidaan käyttää yleistä mitoitusmenetelmää. Yleisessä mitoitusmenetelmässä otetaan huomioon jäykistävän levyn kiinnitystapa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään yksinkertaistettuun analyysiin. (4, s. 151.)

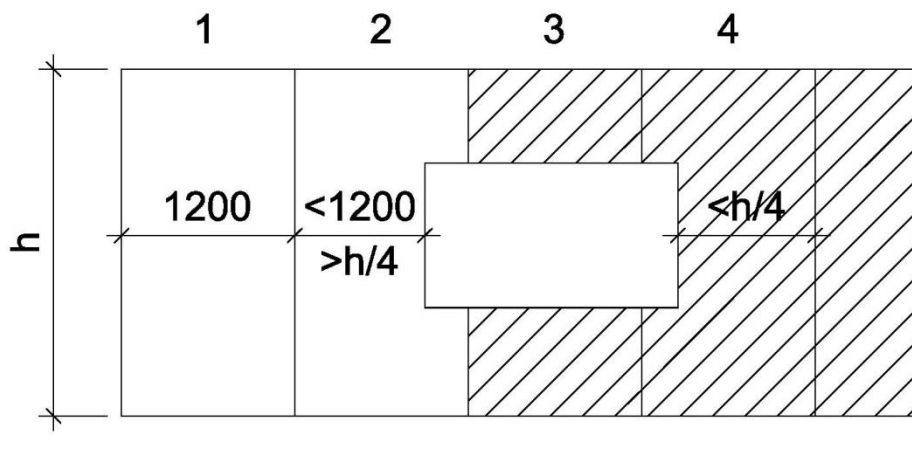
3.3.2 Levyjäykistys Gyproc GTS 9 -tuulensuojakipsilevyllä

Käytettäessä Gyproc GTS 9 -tuulensuojakipsilevyä rakennuksen tuulta jäykistävänä rakenneosana, tulee suunnittelussa käyttää Gyproc Oy:n tyyppihyväksyntää ja taulukkomitoitusohjetta. Jos levytys on molemmilla puolilla runkoa, kuten jäykistävässä väliseinässä, ja levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, voidaan seinän vaakaleikkausvoimakkestävyys laskea levytysten summana. (6, s. 3.)

Yleensä murtorajatilassa tulisi tarkastaa levyn lommahdus ja käyttörajatilassa seinän yläreunan siirtymät. Näitä ei kuitenkaan tarvitse tarkastaa, jos jäykistävän seinän rankajako on pienempi tai yhtä suuri kuin 600 mm ja käytetään Gyproc Oy:n taulukkomitoitusohjetta. Murtorajatilassa jää tarkastettavaksi liittimien leikkauslujuus ja seinän ankkurointi perustukseen. (6, s. 5.)

Rakennusta jäykistävät seinät tulee jakaa osiin eli seinälohkoihin siten, että jäykistävänä levyinä voi toimia vain levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$ kuvan 6 mukaan. Jäykistyskuorma jaetaan jäykistäville levyille jäykkyyksien suhteessa

siten, että leikatun levyn jäykkyys on 1/4 leikkaamattoman levyn jäykkyudesta.
(6, s. 7.)



1. Huomioidaan kokonaisena levynä
2. Huomioidaan osalevynä, kapasiteetti 0,25 x täyden levyn kapasiteetti
3. Ei huomioida jäykistävänä rakenteena
4. Ei huomioida jäykistävänä rakenteena

KUVA 6. Jäykistävät levyt (6, s. 7)

Varsinaista mitoitusta tehdessä pitää aluksi valita käytettävä kiinnike ja levytyyppi sekä käyttöluokka, jolloin taulukosta voidaan valita niiden mukainen kiinnikkeen ominaislujuus. Levy voidaan kiinnittää joko ruuveilla tai nauloilla laskentaohjeen mukaan. Tämän jälkeen valitaan taulukosta ominaislujuuden ja kiinnikevälin mukainen jäykistyskapasiteetin arvo, joka kerrotaan vielä levyn korkeuden mukaisella korjauskertoimella. Tästä saadaan yhden tuulensuojalevyn jäykistyskapasiteetti. 1200 mm kapeammilla, mutta $h/4$ leveämmillä seinälohkoilla jäykistyskapasiteetti tulee kertoa luvulla 0,25. Kun lasketaan kaikkien jäykistävällä seinällä olevien seinälohkojen jäykistyskapasiteetit yhteen, saadaan seinän jäykistyskapasiteetti, jonka tulee ylittää seinän jäykistyskuorman arvo. Mitoitusehtona käytetään kaavaa 13.

3.3.3 Levyjäykistys Knauf KXT 9 -tuulensuojakipsilevyllä

Knauf Oy:n levyjäykistyslaskentaohjeessa esitetään aluksi tuulikuorman laskenta, joka on RIL 205-1-2009 yksinkertaistetun menettelyn mukainen. Jäykistystä suunniteltaessa voidaan levyjen lommahdustarkastelu jättää huomioi-

matta, kun levyjen liitinväli on pienempi tai yhtä suuri kuin 300 mm, pystyrunko-jako on pienempi tai yhtä suuri kuin 600 mm ja levyn korkeus pienempi tai yhtä suuri kuin 2800 mm. (7, s. 4–6.)

Seinän jäykistyskapasiteettia laskettaessa valitaan ensimmäiseksi laskentaoh-jeen taulukosta levytyypin ja liittimen sekä sen käyttöluokan mukainen kiinnik-keen ominaislujuus. Kiinnikkeinä voidaan käyttää ruuveja, nauvoja tai hakasia. Ominaislujuudesta saadaan mitoitusarvo jakamalla se luvulla 1,3, joka on mate-riaalin osavarmuuskerroin. Käyttöluokkana voidaan käyttää luokkaa 2, jos jäy-kistävä levy tulee suojaan esimerkiksi ulkoverhouksen alle, ja luokkaa 3, jos levy on säälle alttiina.

Vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo seinälohkolle saadaan liittimen mitoitusarvosta kaavalla 10. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoi-tusarvo on jäykistävien seinälohkojen vaakaleikkausvoimakestävyyksien sum-ma. Jäykistävissä seinälohkoissa, joissa levytys on rungon molemmin puolin, voidaan seinän vaakaleikkausvoimakestävyys laskea molempien levytysten summana. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden arvon pitää ylittää seinän jäykistyskuorman arvon. Mitoitusehtona käytetään kaavaa 13. (7, s. 8.)

3.3.4 Levyjäykistys Runkoleijona- ja Tuulileijona-tuulensuojalevyillä

Suomen Kuitulevy Oy:n tuulensuojalevyjen tyyppihyväksynnässä on esitetty Runkoleijona- ja Tuulileijona-tuulensuojalevyille kolme eri liitinvaihtoehtoa. Run-koleijona voidaan kiinnittää konenaulalla, lankanaulalla tai hakasella ja Tuulilei-jona voidaan kiinnittää lankanaulalla, bituliittinaulalla tai hakasella. (8, s. 8–10.)

Varsinainen mitoitus tehdään RIL 205-1-2009 -ohjeiden mukaisesti. Tyyppihy-väksynnässä olevasta taulukosta valitaan levyn, liittimen ja käyttöluokan mukai-nen ominaisleikkauskestävyyden arvo. Käyttöluokkana käytetään ulkoverhouk-sen alla luokkaa 2 ja säälle alttiina luokkaa 3. Ominaisleikkauskestävyyden arvo saadaan muutettua mitoitusarvoksi kaavalla 12. Huokoisella kuitulevyllä tulee huomioida, että k_{mod} -arvona tulee käyttää arvoa 1,0 hetkellisessä aikaluokassa kaikissa käyttöluokissa ja γ_M arvona arvoa 1,25. Huokoisessa kuitulevyssä lommahdusvaikutus voidaan jättää huomioimatta, mikäli kaavan 14 ehto täyttyy. (8, s. 6.)

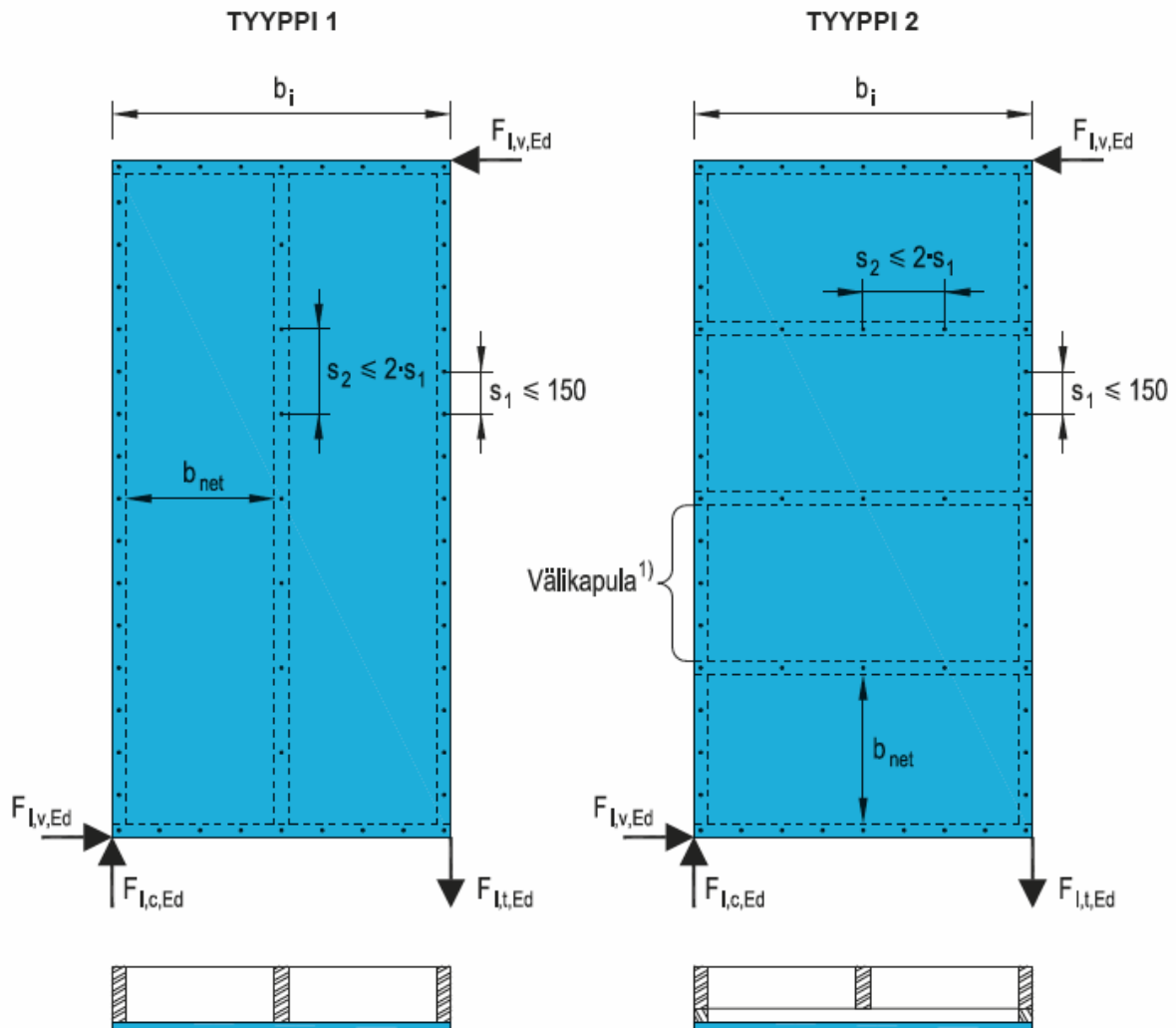
$$b_{net}/t \leq 100$$

KAAVA 14

b_{net} = levyn tukien vapaa väli [mm]

t = jäykistävän levyn paksuus [mm]

Seinälohkolle saadaan laskettua leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo kaavalla 10, kun seinälohko on kuvassa 7 esitettyjen tyyppien mukainen. Jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo saadaan laskettua kaavalla 9 seinälohkojen leikkausvoimakestävyyksien summana. Mitoitusehtona käytetään kaavaa 13, jossa seinän jäykistyskuorman arvo ei saa ylittää jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvoa. Tyypin hyväksynnässä on lisäksi laskettu valmiiksi yhden levyn leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvoja muutamille eri levykorkeuksille ja liitinväleille. (8, s. 6.)



¹⁾ Välikapulat tarvitaan, jotta levyn kaikki reunat saadaan kiinnitettyä. Välikapulat sekä ala- ja yläreunan vaakakoolaus tulee olla kiinnitetty runkoon siten, että levyn reunassa esiintyvät leikkausvoimat siirtyvät rungolle, joka on ankkuroitu alustansa.

KUVA 7. Suomen Kuitulevyn seinälohkojen tyypit (8, s. 7)

3.4 Jäykistystapojen mitoituksien vertailu

Jäykistävien kipsilevyjen mitoistustapoja vertailtaessa Gyproc Oy:n ja Knauf Oy:n tyyppihyväksynnässä on pieniä eroja. Gyproc Oy esittää tyyppihyväksynnässään taulukkomitoitusohjeen Knauf Oy:n laskentakaavojen sijaan. Knauf Oy:n tyyppihyväksynnässä leikattujen levyjen jäykkyys lasketaan laskentakaavalla leveyden suhteessa, kun puolestaan Gyproc Oy:n ohjeessa leikattujen levyjen jäykkyys on neljäsosa täysien levyjen jäykkyudesta. Knauf Oy esittää myös ohjeessaan tuulikuorman laskennan.

Suomen Kuitulevy Oy:n tyyppihyväksyntä on hyvin samanlainen Knauf Oy:n tyyppihyväksynnän kanssa ilmoittamalla taulukoissaan liittimien leikkausvoimakestävyysominaisarvot, jotka saadaan ilmoitetuilla kaavoilla muutettua mitoitusarvoiksi. Tämän jälkeen levyn leveyden, liitinvälin ja levyn korkeuden korjauskertoimen avulla lasketaan yhden levyn, eli seinälohkon, leikkausvoimakestävyys. Kun seinälohkojen leikkausvoimakestävyys lasketaan yhteen, saadaan seinän leikkausvoimakestävyys.

Vanerilevyjäykistyksessä mitoitus tulee tehdä RIL 205-1-2009 -ohjeiden mukaan. Mitoitus tehdään kuten Suomen Kuitulevy Oy:n ja Knauf Oy:n tyyppihyväksynnöissä sillä erotuksella, että liittimien leikkausvoimakestävyysominaisarvot tulee laskea itse RIL 205-1-2009 mukaan.

3.5 Jäykistysseinän ankkurointi

RIL 205-1-2009 -julkaisussa esitettyä jäykistysseinien yksinkertaistettua analyysia voidaan käyttää, jos jäykistysseinät on ankkuroitu perustuksiin kunkin osaseinän päästä tai vaihtoehtoisesti alajuoksu on ankkuroitu tasavälein perustuksiin koko seinän matkalta, vähintään jokaisen jäykistävän lohkon kohdalta. Yksikerroksisessa rakennuksessa jäykistysseinät ankkuroidaan pääsääntöisesti perustuksiin. Siirrettäessä jäykistyksestä aiheutuvat pystykuormat perustuksiin tulee seinälohkot ankkuroida jäykin liittimin. (4, s. 148–150.)

Ankkurointivoimaa osaseinille laskettaessa tulee ensin laskea jäykistävän seinän kunkin erilevyisen seinälohkon vastaanottama kuorman suhteellinen osuus kokonaiskuormasta. Suhteelliset osuudet saadaan laskettua kaavalla 17.

$$a_i = b_i * c_i / \sum n_i * b_i * c_i \quad \text{KAAVA 17}$$

a_i = yhden seinälohkon vastaanottaman kuorman suhteellinen osuus

b_i = seinälohkon leveys

c_i = korjauskerroin

n_i = seinälohkojen lukumäärä

Osaseinän yläreunaan tuleva vaakakuorma $F_{i,v,Ed}$ lasketaan seinän kokonaisjäykistyskuormasta $F_{v,Ed}$ kaavalla 18. Esimerkkikaavassa on yhdessä osaseinässä 3 kpl seinälohkoja yksi ja seinälohkoja 2 kaksi kappaletta.

$$F_{i,v,Ed} = F_{v,Ed} * (3*a_1 + 2*a_2) \quad \text{KAAVA 18}$$

$F_{i,v,Ed}$ = osaseinälle tuleva vaakakuorma

$F_{v,Ed}$ = seinän kokonaisjäykistyskuorma

Osaseinän ulkoiset pystyvoimat saadaan laskettua osaseinälle tulevan vaakakuorman avulla kaavalla 19 (4, s. 150).

$$F_{i,t,Ed} = F_{i,v,Ed} * h/b_i \quad \text{KAAVA 18}$$

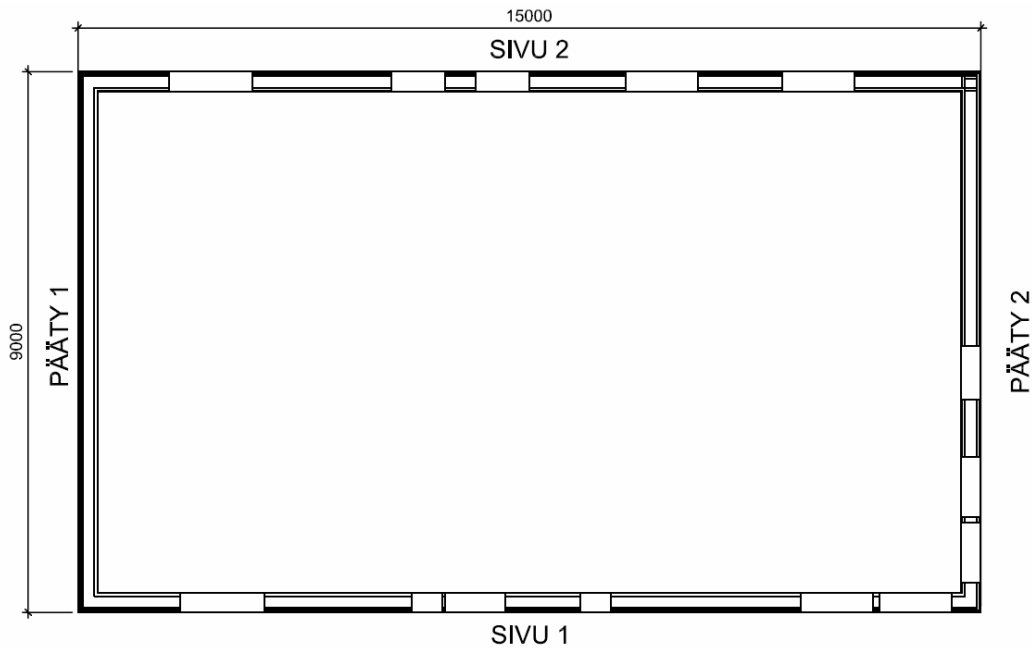
$F_{i,t,Ed}$ = osaseinällä vaikuttava ulkoinen pystyvoima

h = jäykistävän seinän korkeus

Pystyvoimasta voidaan vähentää runkotolpan puristusvoima $0,9 * G_{kj,inf}$, joka aiheutuu pysyvästä kuormasta RIL 205-1-2009 kaavan 2.1.3S mukaan. Puupientaloissa tulee huomioida, että päätyseinillä omapaino on hyvin pieni. Jäykistävien osaseinien ankkurointi tehdään jäykillä liittimillä, joiden vetokestävyys tiedetään. Osaseinällä vaikuttavan ulkoisen pystyvoiman arvo ei saa ylittää ankkuroinnissa käytettävän liittimen suurinta vetokestävyyttä. (4, s. 150.)

4 TULOSEN ESITTELY

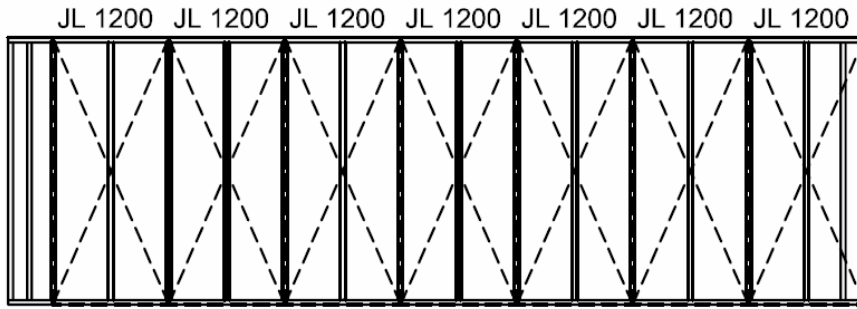
Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi esimerkkilaskelma (liite 1) pientalon jäykistyksestä Mathcad-ohjelmalla laadittuna. Jäykistys mitoitettiin kohteeseen Gyproc Oy:n sekä Knauf Oy:n tuulensuojakipsilevyillä, Runkoleijona ja Tuulileijona huokoisilla kuitulevyillä sekä vanerilevyillä. Lisäksi laskettiin jäykistävien seinien ankkurointi perustukseen. Esimerkkilaskelman pohjalta laadittiin Excel-sovellus, joka pystyy laskemaan suorakaiteen mallisen 1-kerroksisen rakennuksen levyjäykistyksen. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkikohteen pohjapiirros ja jäykistävät seinät.



KUVA 8. Esimerkkitalon pohjakuva

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkitalon pääty 1 ja päädyn jäykistävät levyt. Seinässä ei ole ikkunoita, jolloin kaikki täydet levyt toimivat jäykistävinä levyinä.

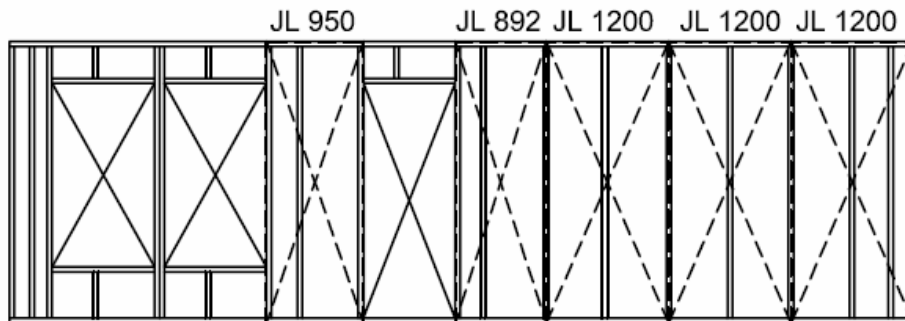
PÄÄTY 1



KUVA 9. Esimerkkitalon pääty 1

Kuvassa 10 on esitetty esimerkkitalon pääty 2 ja päädyn jäykistävät levyt. Pääty 2 on haastavin jäykistykseen kannalta suurten ikkunoiden ja oven takia.

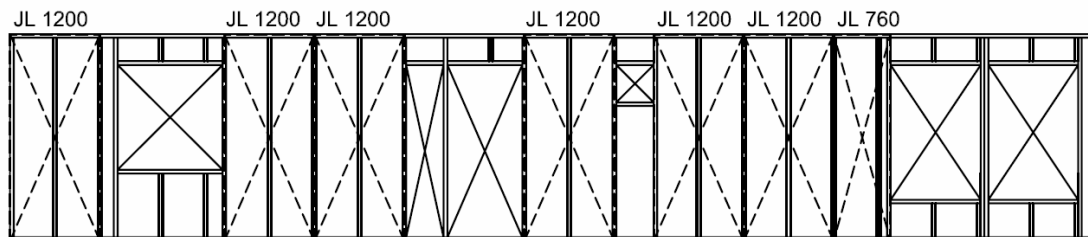
PÄÄTY 2



KUVA 10. Esimerkkitalon pääty 2

Kuvassa 11 on esimerkkitalon etusivu, sivu 1, sekä sen jäykistävät levyt.

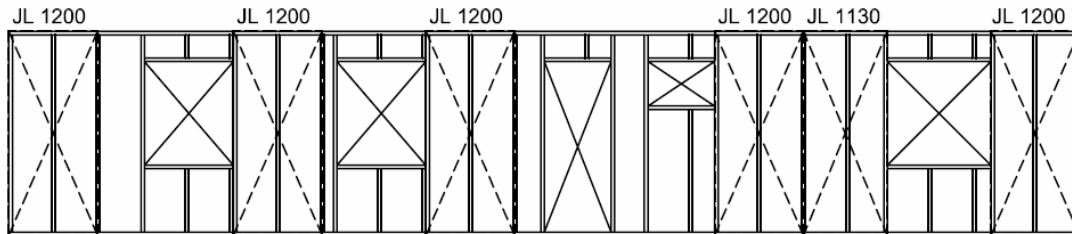
SIVU 1



KUVA 11. Esimerkkitalon sivu 1

Kuvassa 12 on esimerkkitalon sivu 2 jäykistävine levyineen, joka on rakennuksen takasivu. Vaikka sivulla on useampia aukkoja, saadaan sivu jäykistettyä täysien levyjen avulla.

SIVU 2



KUVA 12. Esimerkkitalon sivu 2

4.1 Jäykistystapojen vertailu esimerkkikohteessa

Esimerkkikohteeseen tehtyjen laskelmien perusteella huomataan, että Gyproc Oy:n ja Knauf Oy:n tyyppihyväksyntöjen laskentatuloksissa on eroja. Laskettaessa päätyä 1 Gyproc Oy:n GTS 9 -levyllä voi liitinväliksi laittaa 125 mm Knauf Oy:n KXT 9 -levy 110 mm:n sijaan. Laskettaessa puolestaan päätyä 2 Gyproc Oy:n tuotteilla liitinväli menee alle taulukkomitoituksessa pienimmän sallitun liitinvälin 70 mm, kun liitinväli Knauf Oy:n levyillä on 70 mm. Erot johtuvat liittimien leikkausvoimakestävyyksien mitoitusarvojen eroista sekä Gyproc Oy:n tavasta pienentää leikattujen levyjen jäykkyyttä kertoimella 0,25. Tämän vuoksi jäykistävillä seinillä, jossa on paljon leikattuja levyjä, Knauf Oy:n laskentatavalla päästään harvempaan liitinväliin.

Huokoisista kuitulevyistä Runkoleijona on selvästi Tuulileijonaa parempi jäykiste. Esimerkiksi päädyn 1 jäykistyksessä Runkoleijonan liitinväli voi olla jopa 125 mm, kun Tuulileijonalla kyseisen seinän liitinväli pitää olla niinkin tiheä kuin 70 mm.

Kaikkia levyjä keskenään vertailtaessa vanerilevy vie voiton. Runkoleijona toimii jäykisteenä paremmin kuin kipsilevyt ja huonoiten jäykistykseen soveltuu Tuulileijona. Vanerilevy ja huokoinen kuitulevy joudutaan kuitenkin kiinnittämään

nauloilla tai hakasilla, jolloin niiden suurin mahdollinen liitinväli on 150 mm kipsilevyjen ruuvikiinnityksen 200 mm:n sijaan.

Kuvassa 13 on esimerkkilaskelmasta kerätty tiedot eri valmistajien levyjen liitinväleistä käyttöasteineen merkityillä kiinnikkeillä. Myöhemmin näkyvässä kuvassa on vertailun vuoksi Excel-ohjelman antama vertailutaulukko, jossa näkyy liitinvälit ja käyttöasteet eri valmistajien kaikilla hyväksytyillä liittimillä 5 mm:n tarkkuudella laskettuna.

Liitinvälit ja käyttöasteet									
Valmistaja	Kiinnike	Pääty 1		Pääty 2		Sivu 1		Sivu 2	
Gyproc	QU 32/QMST 32	125	91,70 %	X	X	200	80,40 %	200	95,70 %
Knauf	Puuruuvi 3,9x32	110	93,80 %	70	99,99 %	200	87,30 %	200	95,00 %
Runkoleijona	Konenaula 2,5x60	125	92,20 %	80	98,90 %	150	56,70 %	150	61,60 %
Tuulileijona	Bituliittinaula 3,5x50	70	95,60 %	X	X	140	98,00 %	130	98,90 %
Vanerilevy	Konenaula 2,5x60	140	96,10 %	80	92,00 %	150	52,80 %	150	57,40 %

KUVA 13. Esimerkkilaskelmasta saatujen levyjäykistyksen tulosten vertailu

4.2 Excel-ohjelman esittely

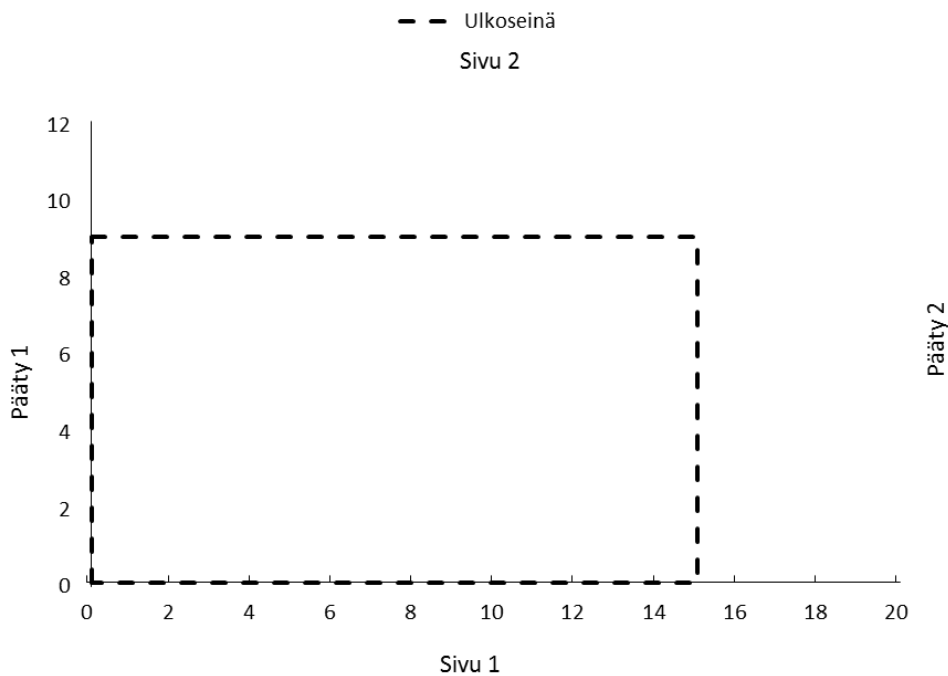
Opinnäytetyössä laadittu Excel-ohjelma laskee levyjäykistykseen vaadittavat liitinvälit eri levytyypeille 5 millimetrin tarkkuudella. Ohjelmalla pystyy tällä hetkellä laskemaan ja vertailemaan 1-kerroksisten, suorakaiteen mallisten, ilman jäykistävää väliseinää olevien pientalojen pystyrakenteiden jäykistyksen. Ohjelman aloitussivulle syötetään rakennuksen lähtötiedot tuulikuorman laskentaa varten. Tarvittavat lähtötiedot ovat maastoluokka, rakennuksen korkeus, pituus ja leveys sekä jäykistävän tuulensuojalevyn korkeus, joka on sama kuin alajuoksun ja yläjuoksun välinen pystysuora etäisyys. Näiden tietojen perusteella ohjelma laskee nopeuspaineen ominaisarvon sekä pistetuulikuormat päätyseinille ja sivuseinille. Kuvassa 14 on Excel-ohjelmassa olevat tietojen syöttöruudut.

Tuulikuorman laskenta:

Maastoluokka	III	
Rakennuksen korkeus	5,53	m
Sokkelin korkeus	0,35	m
Jäykistävän ts-levyn korkeus	2,7	m
Korkeus yläpohjatasosta harjalle	2,48	m
Rakennuksen leveys	9	m
Rakennuksen pituus	15	m
Nopeuspaineen ominaisarvo	0,364	kN/m ²
Tuulikuorma päätyseinälle	22,04	kN
Tuulikuorma sivuseinälle	10,32	kN

KUVA 14. Lähtötietojen syöttöruudut

Ohjelma piirtää annettujen rakennuksen mittojen perusteella pienen pohjakuvan (kuva 15), josta näkee nopeasti, onko rakennuksen mitat syötetty oikein ja missä sijaitsevat myöhemmin tarvittavat päädyt ja sivut.



KUVA 15. Excel-ohjelman piirtämä kuva laskettavasta rakennuksesta

Seuraavalle sivulle syötetään loput lähtötiedot varsinaista mitoitusta varten. Ohjelma ilmoittaa ensin jäykistävän levyn minimileveyden, jota kapeampaa levyä ei voi jäykistykseen käyttää. Seuraaviin ruutuihin syötetään päätyihin ja sivuseinil-

le mahtuvien seinälohkosten leveydet ja määrät. Näiden tietosten perusteella ohjelma laskee taustalla kullekin levy- ja liittintyyppiyhdistelmälle minimiliitinväli sekä näiden käyttöasteet. Kuvassa 16 on vertailutaulukko, jonka ohjelma laatii vertailu-välilehdelle. Taulukosta näkee nopeasti, minkälaisella levy-liitin-yhdistelmällä rakennus on mahdollista jäykistää sekä näiden yhdistelmien maksimiliitinväli levyn reunoilla. X-merkinnällä näkyvät yhdistelmät, joilla kyseisen seinän jäykistäminen ei ole mahdollista, eli yhdistelmän maksimiliitinväli jää alle 50 mm:n.

Liitinväli reunalla	Pääty 1	%	Pääty 2	%	Sivu 1	%	Sivu 2	%
Gyproc GTS9								
QU 32 4,2x32	130	99,50 %	65	99,50 %	200	80,29 %	200	95,58 %
Huopanaula 3,0x32	115	99,08 %	55	94,77 %	150	67,78 %	150	80,69 %
Knauf KXT9								
Puurankaruuvi 3,9x32 KXT	115	98,08 %	70	100,00 %	200	87,35 %	200	94,99 %
Huopanaula 3,0x35 KXT	115	98,08 %	70	100,00 %	150	65,52 %	150	71,24 %
Konenaula 2,5x35 KXT	90	98,69 %	50	91,83 %	150	84,23 %	150	91,59 %
Hakanen KXT	65	99,79 %	X	X	125	98,27 %	115	98,31 %
Teräsrankaruuvi 3,5x25 KXT	115	98,08 %	70	100,00 %	200	87,35 %	200	94,99 %
Runkoleijona								
Konenaula 2,5x60	135	99,64 %	80	98,90 %	150	56,70 %	150	61,65 %
Lankanaula 2,1x50 RL	105	96,87 %	60	92,72 %	150	70,87 %	150	77,06 %
Hakanen 10/50	105	96,87 %	60	92,72 %	150	70,87 %	150	77,06 %
Tuulileijona								
Hakanen 25/32	80	98,41 %	X	X	150	94,49 %	145	99,33 %
Bituliittinaula 3,5x35	70	95,68 %	X	X	140	97,99 %	130	98,94 %
Lankanaula 2,1x50 TL	X	X	X	X	80	94,49 %	75	96,33 %
Vaneri								
Konenaula 2,1x38-50	115	99,18 %	65	93,89 %	150	66,25 %	150	72,03 %
Konenaula 2,3x50-60	130	99,66 %	75	96,30 %	150	58,89 %	150	64,03 %
Konenaula 2,5x50-75	145	99,61 %	85	97,81 %	150	52,77 %	150	57,38 %
Konenaula 2,9x50-75	150	84,44 %	105	99,00 %	150	43,24 %	150	47,02 %
X = Jäykistys ei onnistu								

KUVA 16. Excel-ohjelman vertailutaulukko

Tulokset-välilehdellä näytetään valitun jäykistystyyppin tiedot lyhyenä yhteenvetona. Avautuvista luetteloista valitaan tuulensuojalevyn tyyppi sekä liittimen

tyyppi. Tämän jälkeen ohjelma näyttää selkeästi kunkin jäykistävän seinän liitinvälin reunoilla ja keskellä sekä käyttöasteen. Lopuksi ohjelma piirtää sivun loppuun kuvan rakenteesta, jossa näkyvät rakennuksen mitat sekä jäykistävien seinien sijainnit. Kuvassa 17 on tulokset-välilehden listaus, jossa näkyvät kunkin seinän liitinvälit sekä käytettävän levy-liitin-yhdistelmän tyyppi.

Jäykistystyyppi	<u>Levyjäykistys</u>
Tuulensuojalevyn tyyppi	Knauf KXT 9 mm
TS-levyn liittimen tyyppi	Puurankaruuvi 3,9x32 KXT Harvakierteinen kipsilevyruuvi

Pääty 1

Liitinväli reunoilla	115 mm
Liitinväli keskellä	230 mm
Käyttöaste	98,1 %

Pääty 2

Liitinväli reunoilla	70 mm
Liitinväli keskellä	140 mm
Käyttöaste	100,0 %

Sivu 1

Liitinväli reunoilla	200 mm
Liitinväli keskellä	300 mm
Käyttöaste	87,4 %

Sivu 2

Liitinväli reunoilla	200 mm
Liitinväli keskellä	300 mm
Käyttöaste	95,0 %

KUVA 17. Malli tulossivusta

Ohjelman suorittamat laskennat tapahtuvat taustalla olevissa piilotetuissa välilehdissä. Ohjelman käyttäjän on mahdollista muokata vain harmaalla värillä merkattuja lähtötietojen syöttöruutuja, jolloin ohjelman laskentakaavoja ei voi vahingossa muuttaa. Näin voidaan luottaa siihen, että ohjelman ilmoittamat tulokset ovat oikein, jos lähtötiedot on syötetty oikein.

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua tarkemmin puurakenteisen asuinrakennuksen pystyrakenteiden jäykistyksen mitoitukseen sekä laatia mitoituksista esimerkkilaskelma ja Excel-laskentapohja. Laskelmaa ja Excel-ohjelmaa voidaan käyttää apuna pienessä suunnittelutoimistossa pientalojen jäykistävien pystyrakenteiden mitoituksessa sekä erityyppisten jäykistävien levyjen vertailussa. Excel-laskentapohjan tarkastus tehtiin käsin lasketun esimerkkilaskelman avulla.

Työn edetessä huomattiin, että työ kannattaa rajata suorakaiteen mallisiin, yksikerroksisiin rakennuksiin, sillä välipohjan aukot tai vinot yläpohjat tuovat paljon lisähaastetta laskentaan. Myös rakennuksen sisällä käytettävät jäykistävät väliseinät vaikeuttavat levyjäykistyksen mitoitusta erisuuruisella jäykkyydellään.

Esimerkkilaskelmaa tehdessä huomattiin, että eri levyvalmistajien tyyppihyväksynät poikkeavat toisistaan jonkin verran. Knauf Oy ilmoittaa tyyppihyväksynnässään jopa tuulikuorman laskentatavan, joka eroaa jonkin verran jäykistyslaskennasta käytettävästä RIL 244-2007:n mukaisesta laskentatavasta. Excel-ohjelmassa ja esimerkkilaskelmassa käytettiin kuitenkin RIL 244-2007:n mukaista menetelmää. Gyproc Oy on turvautunut tyyppihyväksynnässään taulukkomitoitukseen muiden levyvalmistajien ilmoittamien kaavojen sijaan. Gyproc Oy:n taulukkomitoitus vaikeutti jonkin verran Excel-ohjelman laatimista Gyproc-levyjen osalta, sillä taulukkomitoituksessa ilmoittamattomien väliarvojen laskeminen on verrattain vaikeaa.

Opinnäytetyössä tehty Excel-laskentapohja laskee levyjen kiinnityksessä käytetävän liitinvälin halutulla levy-liitin-yhdistelmällä. Laskentapohjaa voidaan käyttää vain suorakaiteen mallisissa rakennuksissa, mikä vähentää huomattavasti laskentapohjasta saatavaa hyötyä. Tulevaisuudessa laskentapohjaa on tarkoitus kehittää kattamaan myös monimuotoisempia rakennuksia sekä kaksikerroksisia rakennuksia, joissa otetaan huomioon välipohjassa olevat aukot. Myös jäykistävien väliseinien ja jäykistysseinien ankkuroinnin tuominen Excel-ohjelmaan on suunnitelmassa.

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin erittäin hyvin. Jäykistävä väliseinä oli tarkoitus tuoda mukaan laskentaan, mutta kuormien jakautumisen laskeminen jäykkyyksien suhteessa osoittautui vielä tässä vaiheessa liian työlääksi. Vinolaudoituksella jäykistäminen oli myös tarkoitus tuoda laskelmiin mukaan. Laskelmien edetessä huomattiin kuitenkin, että tavanomaisella rakennusrungolla naulojen reuna- ja päätyetäisyyksien sekä kuormien jakaantumisen kanssa tulee vinolautajäykistyksessä liian suuria ongelmia.

Tuloksissa yllätti se, kuinka tiheään päätyseinien levyt pitää todellisuudessa kiinnittää verrattuna pitkille sivuille. Useat rakennesuunnittelijat ilmoittavat saman liitinjaon jokaiselle jäykistävälle levyille, oli levy sitten päätyseinällä tai sivuseinällä, mikä kertoo siitä, että oikeaa liitinväliä ei ole tarkasti laskettu. Liitinvälien ilmoittaminen, kuten ne oikeasti ovat, helpottaa monesti työtä työmaalla huomattavasti. Myös liittimien määrä vähenee harvennettaessa liitinväliä sivuseinillä, joka vaikuttaa suoraan kustannuksiin.

LÄHTEET

1. RIL 248-2008. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
2. RIL 244-2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu- ja valmistusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
3. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
4. RIL 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
5. EC5 Sovelluslaskelmat – Asuinrakennus. 2010. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>. Hakupäivä 12.3.2013.
6. Glasroc-komposiittikipsilevyjen GHO 13, GHU 13, GHS 9 ja Rigidur kuituvahvistelevyjen GFH 13 sekä Gyproc rakennuslevyjen GN 13, GEK 13, GF 15, GTS 9 ja GL 15 käyttö rankarakenteisten rakennusten jäykistämiseen. 2011. Gyproc Oy. Saatavissa: [http://www.gyproc.fi/Download/21903/Levyt%20ja%20Glasroc%20ja%20Rigi-
dur%20ja%20tuplalevytyks%20Eurocode%20%20Ruuvit%20RIL%20205-1-2009%2025.11.2011_secure.pdf](http://www.gyproc.fi/Download/21903/Levyt%20ja%20Glasroc%20ja%20Rigidur%20ja%20tuplalevytyks%20Eurocode%20%20Ruuvit%20RIL%20205-1-2009%2025.11.2011_secure.pdf). Hakupäivä 12.3.2013.
7. Laskentaohje Knauf Oy:n kipsikartonkilevyjen levyjäykistykselle Eurokoodi 5 mukaan. 2010. Knauf Oy. Saatavissa: <http://www.knauf.fi/sites/default/files/laskentaohje-knauf-oy-eurokoodi-5-2010.pdf>. Hakupäivä 12.3.2013.
8. STF-tyyppi hyväksyntä, Kiinnitysohjeet ja levyjäykistysominaisuudet. 2009. Suomen Kuitulevy Oy. Saatavissa: http://www.suomentuulileijona.fi/!file/!id153/files/attachment/STF_tyyppih

yvAksyntA_Kiinnitysohjeet_levyjAykistysominaisuudet.pdf. Hakupäivä
12.3.2013.

RAKENNUKSEN KUORMAT**Tuulikuorma:**

Maastoluokka III

Rakennuksen harjakorkeus: $z := 5.53 \text{ m}$

Puuskanopeuspaine interpoloidaan RIL 201-1-2011 taulukon 4.2S mukaan:

$$0.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + \frac{0.43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} - 0.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{8 \text{ m} - 5 \text{ m}} \cdot (5.53 \text{ m} - 5 \text{ m}) = 0.364 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p0}(z) := 0.364 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lasketaan rakennuksen kokonaistuulivoima voimakertoimen avulla:

$$F_{w.k} = c_f \cdot q_{p0}(z) \cdot A_{ref}$$

$$h := z = 5.53 \text{ m}$$

Tuuli kohtisuoraan päytyseinää vastaan:

$$b := 9 \text{ m}$$

$$d := 15 \text{ m}$$

$$A_{ref.pääty} := b \cdot h = 49.77 \text{ m}^2$$

Voimakerroin:

$$\lambda := 2 \cdot \frac{h}{b} = 1.229$$

$$db := \frac{d}{b} = 1.667$$

interpoloidaan RIL 201-1-2011
taulukko 5.2S

$$c_{f1} := 1.28 + \frac{1.38 - 1.28}{3 - 1} \cdot (\lambda - 1) = 1.291$$

$$c_{f2} := 0.99 + \frac{1.07 - 0.99}{3 - 1} \cdot (\lambda - 1) = 0.999$$

$$c_{f.pääty} := c_{f1} + \frac{c_{f2} - c_{f1}}{2 - 1} \cdot (db - 1) = 1.097$$

$$F_{w.k.pääty} := c_{f.pääty} \cdot q_{p0}(z) \cdot A_{ref.pääty} = 19.866 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma vaikuttaa korkeudella 0,6 x h maan pinnasta.

Kokonaistuulikuorma saadaan muutettua tasaiseksi kuormaksi kertoimen 1,25 avulla.

$$q_{w.k.pääty} := 1.25 \cdot \frac{F_{w.k.pääty}}{A_{ref.pääty}} = 0.499 \frac{kN}{m^2}$$

Tuuli kohtisuoraan sivuseinää vastaan:

$$b := 15 \text{ m}$$

$$d := 9 \text{ m}$$

$$A_{ref.sivu} := b \cdot h = 82.95 \text{ m}^2$$

Voimakerroin:

$$\lambda := 2 \cdot \frac{h}{b} = 0.737$$

$$db := \frac{d}{b} = 0.6$$

interpoloidaan RIL 201-1-2011
taulukko 5.2S

$$c_{f.sivu} := 1.37 + \frac{1.44 - 1.37}{0.7 - 0.5} \cdot (db - 0.5) = 1.405$$

$$F_{w.k.sivu} := c_{f.sivu} \cdot q_{p0}(z) \cdot A_{ref.sivu} = 42.422 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma vaikuttaa korkeudella 0,6 x h maan pinnasta.

Kokonaistuulikuorma saadaan muutettua tasaiseksi kuormaksi kertoimen 1,25 avulla.

$$q_{w.k.sivu} := 1.25 \cdot \frac{F_{w.k.sivu}}{A_{ref.sivu}} = 0.639 \frac{kN}{m^2}$$

Muut kuormat:

Pystykuormien epäkeskisyydestä aiheutuvia lisävaakavoimia ei puupientaloissa tarvitse ottaa huomioon

JÄYKISTYKSEN MITOITUS:

Rakennuksen leveys:	$B := 9 \text{ m}$
Rakennuksen pituus:	$L := 15 \text{ m}$
Rakennuksen korkeus:	$H := 5.53 \text{ m}$
Perustuksen korkeus:	$c := 0.35 \text{ m}$
Perustuksen päältä yläpohjaan:	$h_1 := 2.7 \text{ m}$
Yläpohjasta harjalle:	$a := H - c - h_1 = 2.48 \text{ m}$

Päätyseinien kuormitus:

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa:

$$w_{k.sivu} := c_{f.sivu} \cdot q_{p0}(z) \cdot \left(a + \frac{h_1}{2} \right) = 1.959 \frac{kN}{m}$$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa:

$$H_{d.pääty} := 1.5 \cdot w_{k.sivu} \cdot \frac{L}{2} = 22.036 \text{ kN}$$

15

Päätyseinien jäykistykset on mitoitettava tälle kuormalle.

Sivuseinien kuormitus:

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa:

$$w_{k.pääty} := c_{f.pääty} \cdot q_{p0}(z) \cdot \left(a + \frac{h_1}{2} \right) = 1.529 \frac{kN}{m}$$

Sivuseiniin kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa:

$$H_{d.sivu} := 1.5 \cdot w_{k.pääty} \cdot \frac{B}{2} = 10.319 \text{ kN}$$

Sivuseinien jäykistys on mitoitettava tälle kuormalle.

Jäykisteseinän lähtötiedot:

Mitoitetaan rakennuksen jäykistys seuraaville jäykistystavoille:

- jäykistys Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevyllä
- jäykistys Knauf KXT 9 tuulensuojakipsilevyllä
- jäykistys Suomen Kuitulevy Oy:n Runkoleijona tuulensuojalevyllä
- jäykistys Suomen Kuitulevy Oy:n Tuulileijona tuulensuojalevyllä
- jäykistys vanerilevyllä

RIL 205-1-2009 mukaan käytettäessä jäykistykseen huokoisia kuitulevyjä tai kipsilevyjä, tulee mitoitus tehdä levyn tyyppi hyväksynnässä esitettyjen ohjeiden mukaan.

Tuulensuojalevyt mitoitetaan käyttöluokassa 2.

JÄYKISTYS GYPROC GTS 9 TUULENSUOJAKIPSILEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevyjä, jotka kiinnitetään runkotolppiin ruuveilla QU 32 4,2x32.

Mitointi tehdään Gyproc tyyppi hyväksynnässä esitetyn taulukkomitoinnin mukaan.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

Jäykistävän levyn korkeus: $h := 2.7 \text{ m}$

Jäykistävän levyn leveys: $b_i := 1.2 \text{ m}$

Minimileveys jäykistävälle levyllä: $b_{min} := \frac{h}{4} = 0.675 \text{ m}$

Leikattujen levyjen jäykkyys on 25% täyden levyn jäykyydestä.

Korjauskerroin yli 2400 mm korkealle levyllä: $c_i := \frac{2 \cdot b_i}{h} = 0.889$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:**Pääty 1:**

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Valitaan liitinväli: $s := 125 \text{ mm}$

Levyn jäykistyskapasiteetti (taulukosta): $F_{i.v.Rd} := c_i \cdot 3.86 \text{ kN} = 3.431 \text{ kN}$

Täysiä levyjä: $n_{täysi} := 7$

Leikattuja levyjä: $n_{leikattu} := 0$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_{täysi} \cdot F_{i.v.Rd} + 0.25 \cdot n_{leikattu} \cdot F_{i.v.Rd} = 24.018 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.917 < 1,0 \Rightarrow \text{Taulukkomitoituksen mukaan Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevy riittää päädyn 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys ruuveilla QU 32 4,2x32. Liitinväli reunoilla 125 mm ja keskellä 250 mm.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Valitaan liitinväli: $s := 70 \text{ mm}$

Levyn jäykistyskapasiteetti (taulukosta): $F_{i.v.Rd} := c_i \cdot 6.61 \text{ kN} = 5.876 \text{ kN}$

Täysiä levyjä: $n_{täysi} := 3$

Leikattuja levyjä: $n_{leikattu} := 2$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_{täysi} \cdot F_{i.v.Rd} + 0.25 \cdot n_{leikattu} \cdot F_{i.v.Rd} = 20.564 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 1.072 > 1,0 \Rightarrow \text{Taulukkomitoituksen mukaan Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevy ei riitä päädyn 2 jäykistämiseen.}$$

Päädyn 2 jäykistys hoidettava esim. vanerilevyllä tai vinolaudoituksella.

Jäykistävän sivuseinän mitoitus:

Sivu 1:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Valitaan liitinväli: $s := 200 \text{ mm}$

Levyn jäykistyskapasiteetti (taulukosta): $F_{i.v.Rd} := c_i \cdot 2.31 \text{ kN} = 2.053 \text{ kN}$

Täysiä levyjä: $n_{täysi} := 6$

Leikattuja levyjä: $n_{leikattu} := 1$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_{täysi} \cdot F_{i.v.Rd} + 0.25 \cdot n_{leikattu} \cdot F_{i.v.Rd} = 12.833 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.804 < 1,0 \Rightarrow \text{Taulukkomitoituksen mukaan Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevy riittää sivun 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys ruuveilla QU 32 4,2x32. Liitinväli reunoilla 200 mm ja keskellä 300 mm.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Valitaan liitinväli: $s := 200 \text{ mm}$

Levyn jäykistyskapasiteetti (taulukosta): $F_{i.v.Rd} := c_i \cdot 2.31 \text{ kN} = 2.053 \text{ kN}$

Täysiä levyjä: $n_{täysi} := 5$

Leikattuja levyjä: $n_{leikattu} := 1$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_{täysi} \cdot F_{i.v.Rd} + 0.25 \cdot n_{leikattu} \cdot F_{i.v.Rd} = 10.78 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.957 < 1,0 \Rightarrow \text{Taulukkomitoituksen mukaan Gyproc GTS 9 tuulensuojakipsilevy riittää sivun 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys ruuveilla QU 32 4,2x32. Liitinväli reunoilla 200 mm ja keskellä 300 mm.

JÄYKISTYS KNAUF KXT 9 TUULENSUOJAKIPSILEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä Knauf KXT 9 tuulensuojakipsilevyjä, jotka kiinnitetään runkotolppiin harvakierteisillä ruuveilla 3,9x32 tai huopanauloilla 3,0x35.

Mitoitus tehdään Knauf tyyppihyväksynnässä esitetyn laskentaohjeen mukaan.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

Jäykistävän levyn korkeus: $h := 2.7 \text{ m}$

Minimileveys jäykistävälle levyille: $b_{min} := \frac{h}{4} = 0.675 \text{ m}$

Liittimen ominaiskapasiteetti: $F_{f.Rk} := 0.45 \text{ kN}$

Liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{f.Rd} := \frac{F_{f.Rk}}{1.3} = 346.154 \text{ N}$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:**Pääty 1:**

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 110 \text{ mm}$

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 7$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.357 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} = 23.497 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.938 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Knauf KTX 9 tuulensuoja-}$$

kipsilevy riittää päädyn 1 jäykistämiseen.

Kiinnitys ruuveilla 3,9x32 tai huopanauloilla 3,0x35. Liitinväli reunoilla 110 mm ja keskellä 220 mm.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 70 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 3$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 5.275 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 950 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.704$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 3.306 \text{ kN}$

Seinälohko 3:

Seinälohkon leveys: $b_3 := 892 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_3 := 1$

Korjauskerroin: $c_3 := \frac{2 \cdot b_3}{h} = 0.661$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{3.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_3 \cdot c_3}{s} = 2.915 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} + n_3 \cdot F_{3.v.Rd} = 22.045 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 1 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Knauf KTX 9 tuulensuoja-}$$

kipsilevy riittää päädyn 2 jäykistämiseen.

Kiinnitys ruuveilla 3,9x32 tai huopanauloilla 3,0x35. Liitinväli reunoilla 70 mm ja keskellä 140 mm.

Jäykistävän sivuseinän mitoitus:

Sivu 1:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 200 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 6$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 1.846 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 760 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.563$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 0.741 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 11.817 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.873 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Knauf KTX 9 tuulensuoja-} \\ \text{kipsilevy riittää sivun 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys ruuveilla 3,9x32 tai huopanauloilla 3,0x35. Liitinväli reunoilla 200 mm ja keskellä 300 mm.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 200 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 5$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyuden mitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 1.846 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 1130 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.837$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyuden mitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 1.637 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyuden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 F_{2.v.Rd} = 10.868 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.95 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Knauf KTX 9 tuulensuoja-} \\ \text{kipsilevy riittää sivun 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys ruuveilla 3,9x32 tai huopanauloilla 3,0x35. Liitinväli reunoilla 200 mm ja keskellä 300 mm.

JÄYKISTYS RUNKOLEIJONA TUULENSUOJALEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä Runkoleijona tuulensuojalevyjä, jotka kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 2,5x60.

Mitoitus tehdään Suomen Kuitulevyn Oy:n tyyppihyväksynnässä esitetyn laskentaohjeen mukaan.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

Jäykistävän levyn korkeus:

$$h := 2.7 \text{ m}$$

Minimileveys jäykistävälle levyille:

$$b_{min} := \frac{h}{4} = 0.675 \text{ m}$$

Liittimen ominaiskapasiteetti:

$$F_{f.Rk} := 500 \text{ N}$$

Liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{f.Rd} := 1.0 \cdot \frac{F_{f.Rk}}{1.25} = 400 \text{ N}$$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:**Päätty 1:**

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli:

$$s := 125 \text{ mm}$$

Seinälohkon leveys:

$$b_1 := 1200 \text{ mm}$$

Levyjen määrä seinälohkossa:

$$n_1 := 7$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.413 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} = 23.893 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.922 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Runkoleijona tuulensuojalevy riittää päädyssä 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 125 mm ja keskellä 250 mm.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 80 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 3$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 5.333 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 950 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.704$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 3.343 \text{ kN}$

Seinälohko 3:

Seinälohkon leveys: $b_3 := 892 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_3 := 1$

Korjauskerroin: $c_3 := \frac{2 \cdot b_3}{h} = 0.661$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{3.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_3 \cdot c_3}{s} = 2.947 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} + n_3 \cdot F_{3.v.Rd} = 22.289 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.989 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Runkoleijona tuulensuojalevy riittää päädyn 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 80 mm ja keskellä 160 mm.

Jäykistävän sivuseinän mitoitus:

Sivu 1:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 150 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 6$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 2.844 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 760 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.563$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 1.141 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyysmitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 18.208 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.567 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Runkoleijona tuulensuojalevy riittää sivun 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 150 mm ja keskellä 300 mm.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 150 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 5$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 2.844 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 1130 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.837$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 2.522 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 16.744 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.616 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Runkoleijona tuulensuoja-levy riittää sivun 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 150 mm ja keskellä 300 mm.

JÄYKISTYS TUULILEIJONA TUULENSUOJALEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä Tuulileijona tuulensuojalevyjä, jotka kiinnitetään runkotolppiin bituliittinauloilla 3,5x35.

Mitoitus tehdään Suomen Kuitulevyn Oy:n tyyppihyväksynnässä esitetyn laskentaohjeen mukaan.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

Jäykistävän levyn korkeus:

$$h := 2.7 \text{ m}$$

Minimileveys jäykistävälle levyille:

$$b_{min} := \frac{h}{4} = 0.675 \text{ m}$$

Liittimen ominaiskapasiteetti:

$$F_{f.Rk} := 270 \text{ N}$$

Liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{f.Rd} := 1.0 \cdot \frac{F_{f.Rk}}{1.25} = 216 \text{ N}$$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:

Pääty 1:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli:

$$s := 70 \text{ mm}$$

Seinälohkon leveys:

$$b_1 := 1200 \text{ mm}$$

Levyjen määrä seinälohkossa:

$$n_1 := 7$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.291 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} = 23.04 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.956 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Tuulileijona tuulensuojalevy riittää päädyn 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys bituliittinauloilla 3,5x35. Liitinväli reunoilla 70 mm ja keskellä 140 mm.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 50 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 3$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 4.608 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 950 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.704$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 2.888 \text{ kN}$

Seinälohko 3:

Seinälohkon leveys: $b_3 := 892 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_3 := 1$

Korjauskerroin: $c_3 := \frac{2 \cdot b_3}{h} = 0.661$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{3.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_3 \cdot c_3}{s} = 2.546 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} + n_3 \cdot F_{3.v.Rd} = 19.258 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 1.144 > 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Tuulileijona tuulensuojalevy ei riitä päädyn 2 jäykistämiseen.}$$

Päädyn 2 jäykistys hoidettava esim. vanerilevyllä tai vinolaudoituksella.

Jäykistävän sivuseinän mitoitus:

Sivu 1:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 140 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 6$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyden mitoitusarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 1.646 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 760 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.563$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyden mitoitusarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 0.66 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 \cdot F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 10.534 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.98 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Tuulileijona tuulensuojalevy riittää sivun 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys bituliittinauloilla 3,5x35. Liitinväli reunoilla 140 mm ja keskellä 280 mm.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 130 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 5$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 1.772 \text{ kN}$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 1130 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.837$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 1.572 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 10.433 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.989 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan Tuulileijona tuulensuoja-levy riittää sivun 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys bituliittinauloilla 3,5x35. Liitinväli reunoilla 130 mm ja keskellä 260 mm.

JÄYKISTYS VANERILEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä 9 mm vanerilevyjä, jotka kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 2,5x60.

Mitoitus tehdään RIL 205-1-2009 ohjeen mukaan.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

Jäykistävän levyn korkeus:	$h := 2.7 \text{ m}$
Minimileveys jäykistävälle levyille:	$b_{min} := \frac{h}{4} = 0.675 \text{ m}$
Liittimen halkaisija:	$d := 2.5$
Liittimen pituus:	$l_{liitin} := 60$
Jäykistävän levyn paksuus:	$t_1 := 9$
Naulan tartuntapituus:	$t_2 := l_{liitin} - t_1 = 51$
Aikavaikutuskerroin:	$k_{mod} := 1.1$
Materiaaliosavarmuusluku:	$\gamma_M := 1.4$
Liittimen ominaiskapasiteetti:	$R_k := 120 \cdot d^{1.7} \cdot N = 569.743 \text{ N}$
Liitospuun tiheyden ominaisarvo:	$\rho_k := 350$
Puun tiheyden mukaan laskettu kerroin:	$k_\rho := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = 1$
Levystä ja puutavaran tiheydestä riippuva kerroin:	$k_l := \left(0.5 + \frac{t_1}{12 \cdot d}\right) \cdot k_\rho = 0.8$

Tarkistetaan tartuntapituus: $t_2 = 51$ $12 \cdot d = 30$

$t_2 > 12 \cdot d = 1$ => Leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää.

Liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo: $R_d := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_l \cdot R_k = 358.124 \text{ N}$

Liittimen leikkausvoimakestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1,2: $F_{f,Rd} := 1.2 \cdot R_d = 429.749 \text{ N}$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:**Pääty 1:**

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli:

$$s := 140 \text{ mm}$$

Seinälohkon leveys:

$$b_1 := 1200 \text{ mm}$$

Seinälohkojen määrä:

$$n_1 := 7$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.274 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} = 22.92 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.961 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan vanerilevy riittää pädyn 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 140 mm ja keskellä 280 mm.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Liitinväli:

$$s := 80 \text{ mm}$$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys:

$$b_1 := 1200 \text{ mm}$$

Seinälohkojen määrä:

$$n_1 := 3$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 5.73 \text{ kN}$$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 950 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.704$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 3.591 \text{ kN}$

Seinälohko 3:

Seinälohkon leveys: $b_3 := 892 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_3 := 1$

Korjauskerroin: $c_3 := \frac{2 \cdot b_3}{h} = 0.661$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo: $F_{3.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_3 \cdot c_3}{s} = 3.166 \text{ kN}$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} + n_3 \cdot F_{3.v.Rd} = 23.947 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.pääty}}{F_{v.Rd}} = 0.92 < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan vanerilevy riittää päädyn 2 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,5x60. Liitinväli reunoilla 80 mm ja keskellä 160 mm.

Jäykistävän sivuseinän mitoitus:**Sivu 1:**

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli: $s := 150 \text{ mm}$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä:

$$n_1 := 6$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.056 \text{ kN}$$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys:

$$b_2 := 760 \text{ mm}$$

Seinälohkojen määrä:

$$n_2 := 1$$

Korjauskerroin:

$$c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.563$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 1.226 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 19.562 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.528 \quad < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan vanerilevy riittää sivun 1 jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,1x50. Liitinväli reunoilla 150 mm ja keskellä 300 mm.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Liitinväli:

$$s := 150 \text{ mm}$$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys:

$$b_1 := 1200 \text{ mm}$$

Levyjen määrä seinälohkossa:

$$n_1 := 5$$

Korjauskerroin:

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitussarvo:

$$F_{1.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_1 \cdot c_1}{s} = 3.056 \text{ kN}$$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys:

$$b_2 := 1130 \text{ mm}$$

Levyjen määrä seinälohkossa:

$$n_2 := 1$$

Korjauskerroin:

$$c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.837$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden
mitoitusarvo:

$$F_{2.v.Rd} := \frac{F_{f.Rd} \cdot b_2 \cdot c_2}{s} = 2.71 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{v.Rd} := n_1 F_{1.v.Rd} + n_2 \cdot F_{2.v.Rd} = 17.99 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys:

$$\frac{H_{d.sivu}}{F_{v.Rd}} = 0.574 \quad < 1,0 \Rightarrow \text{Mitoituksen mukaan vanerilevy riittää takasivun jäykistämiseen.}$$

Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 2,1x50. Liitinväli reunoilla 150 mm ja keskellä 300 mm.

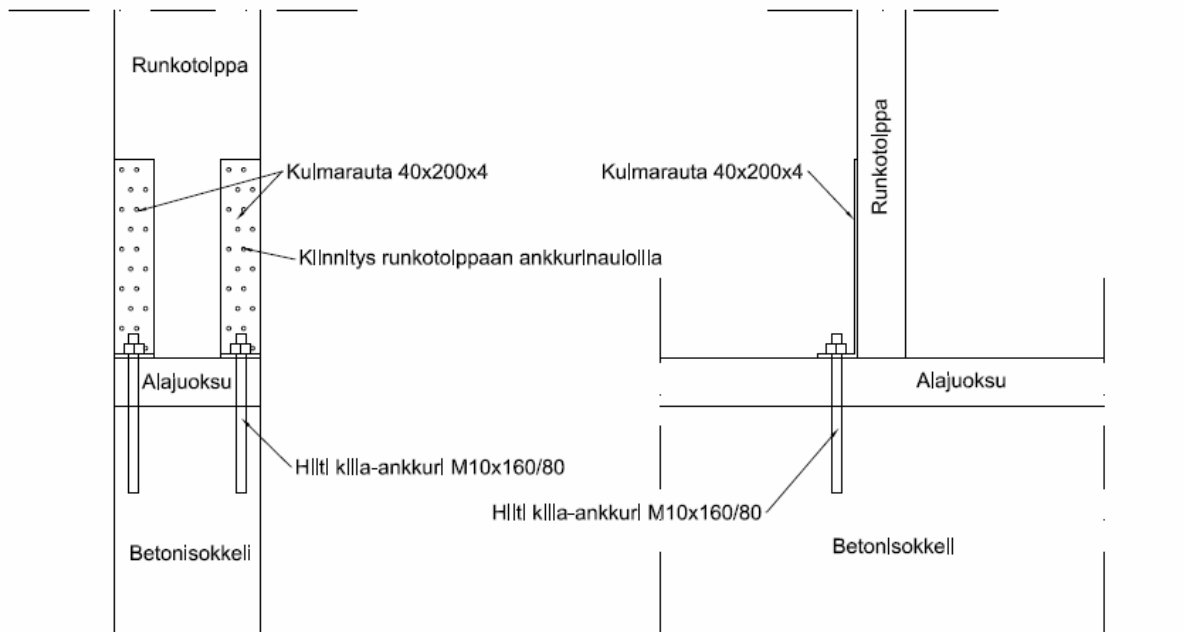
JÄYKISTYSSEINÄN ANKKUROINTI

Jäykistävän levyn korkeus: $h := 2.7 \text{ m}$

Kattorakenteen omapaino: $g_k := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Omapainon viivakuorma ulkoseinälle: $q_k := \frac{B}{2} \cdot 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Seinät ankkuroidaan jokaisen jäykistävän osaseinän päästä.
Ankkurointidetilji on esitetty seuraavassa kuvassa:



Jäykistävien osaseinien päässä olevat runkotolpat kiinnitetään kulmaraudan 40x200x4 välityksellä perustukseen. Kulmarautoja laitetaan joko 1 tai 2 kpl rinnakkain seuraavien laskelmien mukaan. Kulmaraudat kiinnitetään runkotolppaan ankkurinauloilla 4x4 ja perustuksiin Hilti M10x160/80 kiila-ankkureilla. Ankkurinauloilta tarkistetaan leikkauskestävyys ja kiila-ankkureilta vetokestävyys.

Ankkurinaula 4x40:

Naulan paksuus ja pituus: $d := 4$ $l := 40$

Tunkeumaehdot: $12 \cdot d = 48$ $8 \cdot d = 32$

Teräslevyn paksuus ja tunkeuma: $t_1 := 4$ $t_2 := l - t_1 = 36$

Puun tiheyden mukaan laskettu kerroin: $k_\rho := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = 1$

Korjauskerroin: $k_s := \left(0.6 + 0.9 \cdot \frac{t_2}{12 \cdot d} \right) \cdot k_\rho = 1.275$

Aikavaikutuskerroin:	$k_{mod} := 1.1$
Materiaaliosavarmuusluku:	$\gamma_M := 1.4$
Naulan ominaisleikkauskestävyys:	$R_k := 120 \cdot d^{1.7} \cdot N = 1.267 \text{ kN}$
Naulan mitoitusleikkauskestävyys:	$R_d := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_s \cdot R_k = 1.269 \text{ kN}$
<u>Kiila-ankkuri Hilti M10x160/80 4x40:</u>	
Suunnitteluvetokestävyys:	$N_{Rd} := 6 \text{ kN}$

Pääty 1:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys:	$b_1 := 1200 \text{ mm}$
Seinälohkojen määrä:	$n_1 := 7$
Korjauskerroin:	$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Osaseinille tulevat vaakakuormat:

Osaseinässä 1 on 7kpl 1200mm levyjä.

$$F_{1.v.Ed} := H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Ulkoiset pystyvoimat osaseinille

$$F_{1.t.Ed} := F_{1.v.Ed} \cdot \frac{h}{(7 \cdot b_1)} = 7.083 \text{ kN}$$

Päätyseinällä omapainon osuus pieni => kuormasta ei vähennetä omapainoa.

Kiinnitys Hilti HST 10mm kiila-ankkurilla 2kpl/liitos.

Tarkistetaan riittääkö kestävyys:

Osaseinä 1:	$\frac{F_{1.t.Ed}}{2 \cdot N_{Rd}} = 0.59$	$< 1,0$
-------------	--	---------

Ankkurinaulojen määrä:	$n := \frac{F_{1.t.Ed}}{2 \cdot R_d} = 2.8$	Valitaan 4kpl
------------------------	---	---------------

Jäykistysseinän ankkurointi Hilti HST 10mm kiila-ankkureilla sekä ankkurinauloilla 4x40. 2kpl kiila-ankkureita ja 4kpl ankkurinauloja/liitos osaseinän 1 molempiin päihin.

Pääty 2:

$$H_{d.pääty} = 22.036 \text{ kN}$$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys: $b_1 := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_1 := 3$

Korjauskerroin: $c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys: $b_2 := 950 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.704$

Seinälohko 3:

Seinälohkon leveys: $b_3 := 892 \text{ mm}$

Seinälohkojen määrä: $n_3 := 1$

Korjauskerroin: $c_3 := \frac{2 \cdot b_3}{h} = 0.661$

Kuorman jakautuminen suhteellisesti seinälohkoille:

Seinälohko 1: $a := \frac{b_1 \cdot c_1}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot b_3 \cdot c_3)} = 0.239$

Seinälohko 2: $b := \frac{b_2 \cdot c_2}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot b_3 \cdot c_3)} = 0.15$

Seinälohko 3: $c := \frac{b_3 \cdot c_3}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot b_3 \cdot c_3)} = 0.132$

Osaseinille tulevat vaakakuormat:

Osaseinässä 1 on 3kpl 1200mm levyjä ja 1kpl 892mm levyjä.

$$F_{1.v.Ed} := H_{d.pääty} \cdot (3 \cdot a + 1 \cdot c) = 18.731 \text{ kN}$$

Osaseinässä 2 on 1kpl 950mm levyjä.

$$F_{2.v.Ed} := H_{d.pääty} \cdot (1 \cdot b) = 3.305 \text{ kN}$$

Ulkoiset pystyvoimat osaseinille

$$F_{1.t.Ed} := F_{1.v.Ed} \cdot \frac{h}{(3 \cdot b_1 + 1 \cdot b_3)} = 11.259 \text{ kN}$$

$$F_{2.t.Ed} := F_{2.v.Ed} \cdot \frac{h}{1 \cdot b_2} = 9.392 \text{ kN}$$

Päätyseinällä omapainon osuus pieni => kuormasta ei vähennetä omapainoa.

Kiinnitys Hilti HST 10mm kiila-ankkurilla 2kpl/liitos.

Tarkistetaan riittääkö kestävyys:

$$\text{Osaseinä 1:} \quad \frac{F_{1.t.Ed}}{2 \cdot N_{Rd}} = 0.938 < 1,0$$

$$\text{Ankkurinaulojen määrä:} \quad n := \frac{F_{1.t.Ed}}{2 \cdot R_d} = 4.4 \quad \text{Valitaan 6kpl}$$

$$\text{Osaseinä 2:} \quad \frac{F_{2.t.Ed}}{2 \cdot N_{Rd}} = 0.783 < 1,0$$

$$\text{Ankkurinaulojen määrä:} \quad n := \frac{F_{2.t.Ed}}{2 \cdot R_d} = 3.7 \quad \text{Valitaan 6kpl}$$

Jäykistysseinien ankkurointi Hilti HST 10mm kiila-ankkureilla sekä ankkurinauloilla 4x40. 2kpl kiila-ankkureita ja 6kpl ankkurinauloja/liitos osaseinien 1 ja 2 molempiin päihin.

Sivu 1:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Seinälohko 1:

$$\text{Seinälohkon leveys:} \quad b_1 := 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Seinälohkojen määrä:} \quad n_1 := 6$$

$$\text{Korjauskerroin:} \quad c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$$

Seinälohko 2:

$$\text{Seinälohkon leveys:} \quad b_2 := 760 \text{ mm}$$

Seinälohkojen määrä: $n_2 := 1$

Korjauskerroin: $c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.563$

Kuorman jakautuminen suhteellisesti seinälohkoille:

Seinälohko 1: $a := \frac{b_1 \cdot c_1}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2)} = 0.156$

Seinälohko 2: $b := \frac{b_2 \cdot c_2}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2)} = 0.063$

Osaseinille tulevat vaakakuormat:

Osaseinissä 1 ja 3 on 1kpl 1200mm levyjä.

$$F_{1.v.Ed} := H_{d.sivu} \cdot (1 \cdot a) = 1.612 \text{ kN}$$

$$F_{3.v.Ed} := F_{1.v.Ed}$$

Osaseinässä 2 on 2kpl 1200mm levyjä.

$$F_{2.v.Ed} := H_{d.sivu} \cdot (2 \cdot a) = 3.224 \text{ kN}$$

Osaseinässä 4 on 2kpl 1200mm levyjä ja 1kpl 760mm levyjä.

$$F_{4.v.Ed} := H_{d.sivu} \cdot (2 \cdot a + 1 \cdot b) = 3.871 \text{ kN}$$

Ulkoiset pystyvoimat osaseinille:

Sivuseinällä vähennetään pystykuormasta 0,9 x omapainon osuus.

$$F_{1.t.Ed} := F_{1.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.655 \text{ kN}$$

$$F_{2.t.Ed} := F_{2.v.Ed} \cdot \frac{h}{(2 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{2 \cdot b_1}{2} \right) = 1.683 \text{ kN}$$

$$F_{3.t.Ed} := F_{3.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.655 \text{ kN}$$

$$F_{4.t.Ed} := F_{4.v.Ed} \cdot \frac{h}{(2 \cdot b_1 + 1 \cdot b_2)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{2 \cdot b_1 + 1 \cdot b_2}{2} \right) = 0.748 \text{ kN}$$

Kiinnitys Hilti HST 10mm kiila-ankkurilla 1kpl/liitos.

Tarkistetaan riittääkö kestävyys:

Osaseinä 1:	$\frac{F_{1.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.443$	< 1,0
Ankkurinaulojen määrä:	$n := \frac{F_{1.t.Ed}}{R_d} = 2.1$	Valitaan 3kpl
Osaseinä 2:	$\frac{F_{2.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.281$	< 1,0
Ankkurinaulojen määrä:	$n := \frac{F_{2.t.Ed}}{R_d} = 1.3$	Valitaan 3kpl
Osaseinä 3:	$\frac{F_{3.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.443$	< 1,0
Ankkurinaulojen määrä:	$n := \frac{F_{3.t.Ed}}{R_d} = 2.1$	Valitaan 3kpl
Osaseinä 4:	$\frac{F_{4.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.125$	< 1,0
Ankkurinaulojen määrä:	$n := \frac{F_{4.t.Ed}}{R_d} = 0.6$	Valitaan 3kpl

Jäykistysseinien ankkurointi Hilti HST 10mm kiila-ankkureilla sekä ankkurinauloilla 4x40. 1kpl kiila-ankkureita ja 3kpl ankkurinauloja/liitos osaseinien 1, 2, 3 ja 4 molempiin päihin.

Sivu 2:

$$H_{d.sivu} = 10.319 \text{ kN}$$

Seinälohko 1:

Seinälohkon leveys:	$b_1 := 1200 \text{ mm}$
Seinälohkojen määrä:	$n_1 := 5$
Korjauskerroin:	$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h} = 0.889$

Seinälohko 2:

Seinälohkon leveys:	$b_2 := 1130 \text{ mm}$
Seinälohkojen määrä:	$n_2 := 1$

Korjauskerroin:
$$c_2 := \frac{2 \cdot b_2}{h} = 0.837$$

Kuorman jakautuminen suhteellisesti seinälohkoille:

Seinälohko 1:
$$a := \frac{b_1 \cdot c_1}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2)} = 0.17$$

Seinälohko 2:
$$b := \frac{b_2 \cdot c_2}{(n_1 \cdot b_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot b_2 \cdot c_2)} = 0.151$$

Osaseinille tulevat vaakakuormat:

Osaseinissä 1, 2, 3 ja 5 on 1kpl 1200mm levyjä.

$$F_{1.v.Ed} := H_{d.sivu} \cdot (1 \cdot a) = 1.753 \text{ kN}$$

$$F_{2.v.Ed} := F_{1.v.Ed}$$

$$F_{3.v.Ed} := F_{1.v.Ed}$$

$$F_{5.v.Ed} := F_{1.v.Ed}$$

Osaseinässä 4 on 1kpl 1200mm levyjä ja 1kpl 1130mm levyjä.

$$F_{4.v.Ed} := H_{d.sivu} \cdot (1 \cdot a + 1 \cdot b) = 3.307 \text{ kN}$$

Ulkoiset pystyvoimat osaseinille:

Sivuseinällä vähennetään pystykuormasta 0,9 x omapainon osuus.

$$F_{1.t.Ed} := F_{1.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.972 \text{ kN}$$

$$F_{2.t.Ed} := F_{2.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.972 \text{ kN}$$

$$F_{3.t.Ed} := F_{3.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.972 \text{ kN}$$

$$F_{4.t.Ed} := F_{4.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1 + 1 \cdot b_2)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1 + 1 \cdot b_2}{2} \right) = 1.945 \text{ kN}$$

$$F_{5.t.Ed} := F_{5.v.Ed} \cdot \frac{h}{(1 \cdot b_1)} - 0.9 \cdot q_k \cdot \left(\frac{1 \cdot b_1}{2} \right) = 2.972 \text{ kN}$$

Kiinnitys Hilti HST 10mm kiila-ankkurilla 1kpl/liitos.

Tarkistetaan riittääkö kestävyys:

Osaseinä 1, 2, 3 ja 5: $\frac{F_{1.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.495 < 1,0$

Ankkurinaulojen määrä: $n := \frac{F_{1.t.Ed}}{R_d} = 2.3$ Valitaan 3kpl

Osaseinä 4: $\frac{F_{4.t.Ed}}{N_{Rd}} = 0.324 < 1,0$

Ankkurinaulojen määrä: $n := \frac{F_{4.t.Ed}}{R_d} = 1.5$ Valitaan 3kpl

Jäykistysseinien ankkurointi Hilti HST 10mm kiila-ankkureilla sekä ankkurinauloilla 4x40. 1kpl kiila-ankkureita ja 3kpl ankkurinauloja/liitos osaseinien 1, 2, 3, 4 ja 5 molempiin päihin.