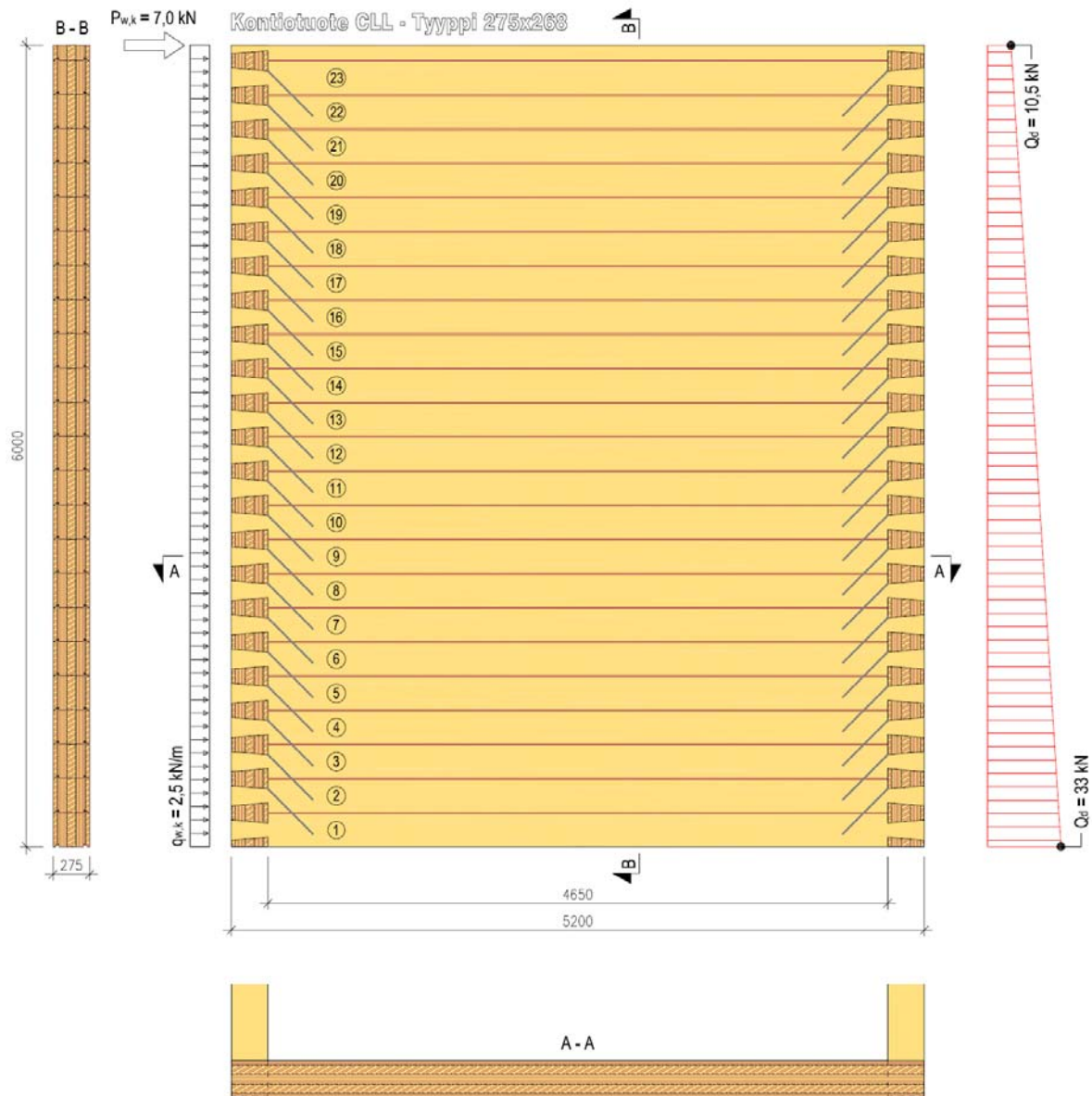


### Jäykistävän seinän kestävyys

#### 1.0 Kuormitus

Seinän ominaiskuormat sekä murtorajatilan leikkausvoimapinta ovat esitetty alla olevassa kuvassa. Seinän päässä oleva viivakuorma muodostuu poikittaisen seinän välittämästä tuulikuormasta. Seinän yläpäässä oleva piste-kuorma muodostuu kattorakenteen projektion tuulikuormasta. Seuraamusluokka on CC2 →  $K_{FI} = 1,0$  (ei esitetä laskelmassa). Tässä laskelmassa tarkastetaan vain yksi kuormitustapaus. Myös muut kuormitustapaukset tulee tarkastaa.

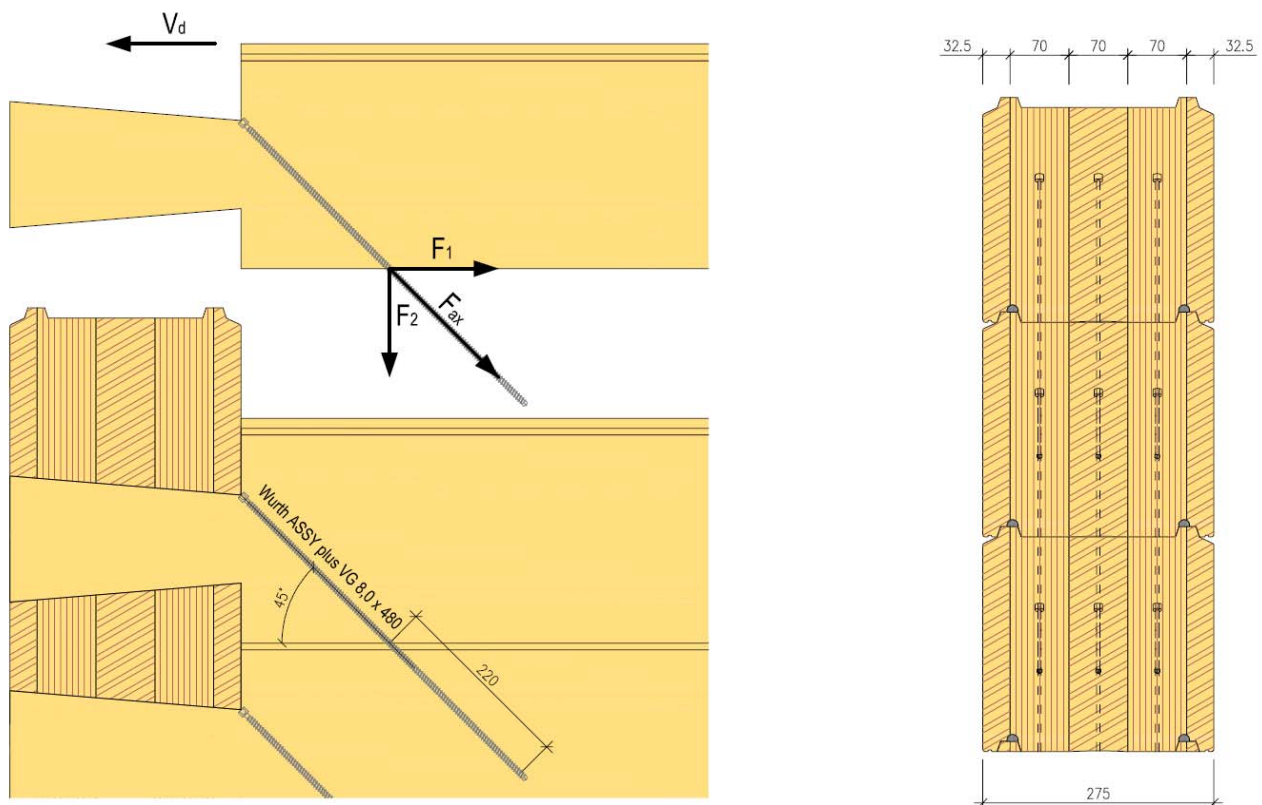


### 2.0 Rakennemalli

Tässä tapauksessa hirsien välillä oleva leikkausvoima vastaanotetaan vinoruuveilla. Seinään tehdään tämän lisäksi normaalit tapitukset ja sidonnat kierretangoilla (ks. esimerkki 1). Seinän vaarnatapitusta ei huomioida jäykistävän seinän leikkausvoimakestävyyden mitoituksessa, koska puutapin leikkauskestävyys on hyvin rajallinen. Tapit voivat olla myös terästä, jolloin itse tapin leikkausvoimakestävyyttä saadaan suuremmaksi. Suurin haaste on kuitenkin tapin poikkileikkauksen muoto ja tätä kautta reunapuristuslujuus. Tavallisesti hirsien välillä olevat vaarnatapit ovat poikkileikkaukseltaan neliönmuotoisia, jotta tapin sovituksesta saadaan riittävän tiukka ja että tapitukseen ei muodostu liikaa kitkaa estämään painumaa. Pyöreässä reiässä olevassa neliönmuotoisessa tapissa leikkausvoiman aiheuttama reunapuristus muodostuu ainoastaan tapin kulmiin, jolloin tapin leikkausvoimakestävyys on erittäin heikko, vaikka itse tappi olisi terästä.

### 3.0 Leikkauskestävyys

Tässä tapauksessa käytetään täyskierteisiä WURTH ASSY plus VG ruuveja alla olevan kuvan mukaan. Ruuvit asennetaan hirren molempiin päihin kaikkiin 70 mm leveisiin lamellikerroksiin. Leikkausrasituksen alaisuudessa toisen pään ruuvit ovat vedettyjä ja toisen pään ruuvit puristettuja. Mitoituksessa voidaan huomioida vain vedetyt ruuvit, jolloin hirsien välille syntyy pystysuuntainen puristusvoima  $F_2$ . Puristetussa vinoruuveissa kyseinen voima  $F_2$  on vetovoima, joka vaatisi kumoutuakseen erilliset pystysuuntaiset ruuvit. Vinoruuveja voidaan asentaa myös hirren keskialueelle riippuen tarvittavasta leikkausvoimakestävyydestä. Ruuvien reuna- ja keskinäisetäisyydet tulee tarkastaa tapauskohtaisesti.



### 3.1 Tehollinen poikkileikkaus

Kyseisen seinän leikkautuva pituus on  $L_v = 4650$  mm

$k_{cr} = 1,0$  (CLL Log - halkeilukerroin)

$t = 32,5 + 32,5 + 70 = 135$  mm (vain pituussuuntaiset lamellit voidaan huomioida)

$$A = k_{cr} \cdot t \cdot L_v = 1,0 \cdot 135 \cdot 4650 = 627750 \text{ mm}^2$$

### 3.2 Ruuviryhmän leikkauskestävyys

Würth ASSY plus VG 8,0 x 480  
Käytetään lausuntoa ETA-11/0190

Käyttöluokka: 2

Aikaluokka: hetkellinen

$\gamma_M = 1,3$  (CLL Log, sahatavara C24)

$\gamma_{M1} = 1,3$  (ruuviliitos)

$\gamma_{M2} = 1,25$  (ruuvin materiaali)

$k_{mod} = 1,1$

$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  (CLL Log, sahatavara C24)

$\alpha = 45^\circ$

$f_{tens,k} = 20000 \text{ N}$

$n = 3 \text{ kpl}$

$n_{ef} = \max\{n^{0,9}; 0,9 \cdot n\} = \max\{3^{0,9}; 0,9 \cdot 3\} = 2,7 \text{ kpl}$

$k_{ax} = 1,0$

$f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$

$d = 8,0 \text{ mm}$  (ruuvin ulkohalkaisija)

$l_{ef} = 220 \text{ mm}$  (ruuvin kierreosan pituus puussa)

$F_{ax,\alpha,Rk} = k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} = 1,0 \cdot 11,0 \cdot 8,0 \cdot 220 \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0,8} = 19,4 \text{ kN}$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \begin{cases} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot n_{ef} \cdot F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 2,7 \cdot 19,4 = 44,3 \text{ kN (ruuviryhmän ulosvetokestävyys)} \\ n_{ef} \cdot \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} = 2,7 \cdot \frac{20}{1,25} = 43,2 \text{ kN (ruuviryhmän vetokestävyys)} \end{cases}$$

$V_{R,d} = F_{ax,\alpha,Rd} \cdot \cos \alpha = 43,2 \cdot \cos 45^\circ = 30,5 \text{ kN}$  (ruuviryhmän leikkauskestävyys)

Vedettyjen vinoruuvien tapauksessa voidaan hyödyntää liitoksen puuosien välinen kitka.

$\mu = 0,26$  (kitkakerroin)

$V_{R,\mu,d} = F_{ax,\alpha,Rd} \cdot \mu \cdot \sin \alpha = 43,2 \cdot 0,26 \cdot \sin 45^\circ = 7,9 \text{ kN}$

$\Sigma V_{R,d} = V_{R,d} + V_{R,\mu,d} = 30,5 + 7,9 = 38,4 \text{ kN}$

### 3.3 Seinän leikkauskestävyys

Kyseisen seinän leikkauskestävyys määräytyy hirren paneelileikkauskestävyyden ja hirsien välisen vinoruuviliitoksen leikkauskestävyyden perusteella.

Käyttöluokka: 2

Aikaluokka: hetkellinen

$\gamma_M = 1,3$  (CLL Log, sahatavara C24)

$k_{mod} = 1,1$

$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$  (CLL Log, sahatavara C24)

$V_d = Q_d = 33 \text{ kN}$

Paneelileikkauskestävyys

$$\tau_d = \frac{V_d}{A} = \frac{33000}{627750} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

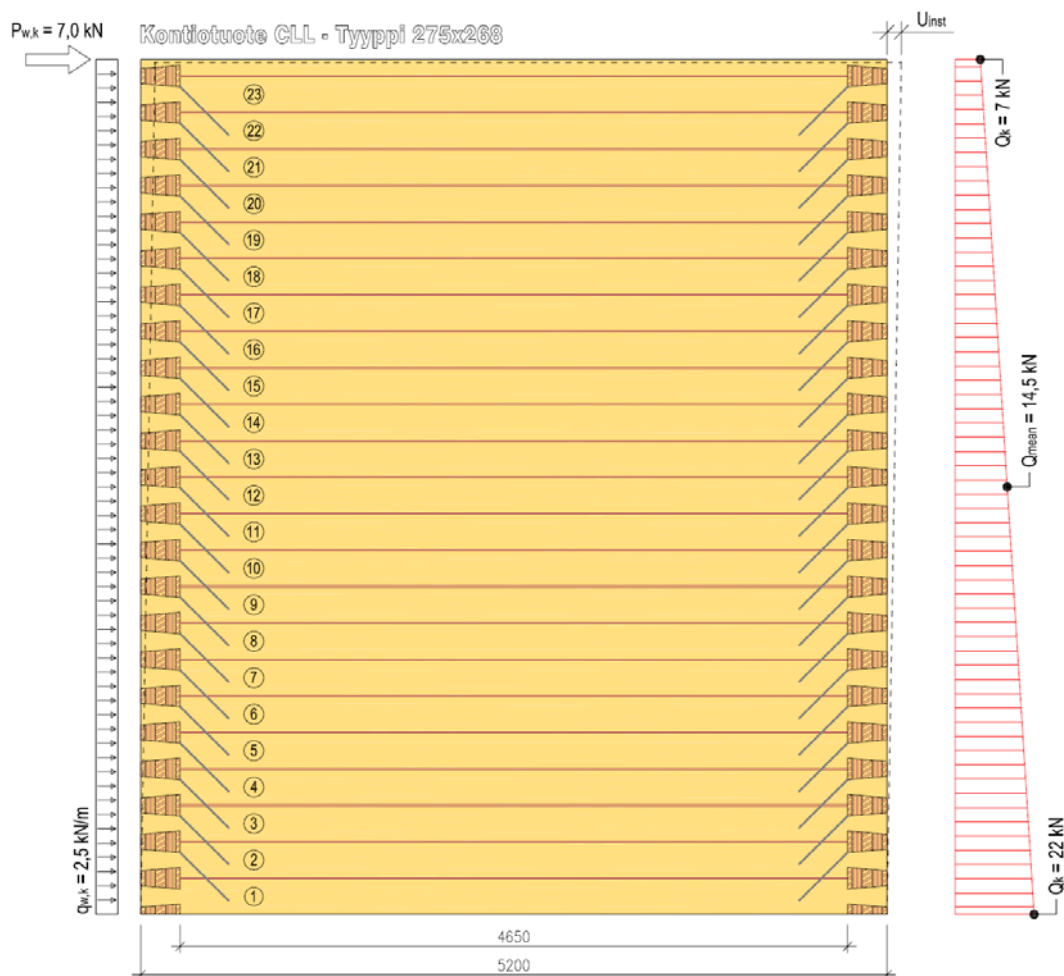
$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 4,0 = 3,4 \text{ N/mm}^2 > 0,05 \text{ N/mm}^2 \text{ (käyttöaste 1,5 \%)} \text{ OK}$$

Ruuviliitoksen kestävyys

$$V_d < \sum V_{R,d} \Rightarrow 33 \text{ kN} < 38,4 \text{ kN} \text{ (käyttöaste 86 \%)} \text{ OK}$$

### 4.0 Leikkaussiirtymä

Kyseisen seinän leikkaussiirtymä määräytyy hirren leikkausjäykkyyden ja hirsien välisen vinoruuviliitoksen siirtymän perusteella. Arvioidaan edellä mainitut siirtymät seinään kohdistuvan keskimääräisen leikkausvoiman perusteella.



### 4.1 Hirren leikkaussiirtymä

$$G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2 \text{ (CLL Log, sahatavara C24)}$$

$$A = 627750 \text{ mm}^2$$

$$H = 256 \text{ mm (CLL Log - hyötykorkeus)}$$

$$V_k = Q_{mean} = 14500 \text{ N}$$

$$n_{log} = 23 \text{ kpl (hirsien lukumäärä)}$$

$$C_v = \frac{1}{\frac{H}{G_{mean} \cdot A}} = \frac{1}{\frac{256}{690 \cdot 627750}} = 1691982 \text{ N/mm}$$

$$u_{inst,log} = n_{log} \cdot \frac{V_k}{C_v} = 23 \cdot \frac{14500}{1691982} = 0,2 \text{ mm}$$

### 4.2 Ruuviryhmän siirtymä

Würth ASSY plus VG 8,0 x 480

Käytetään lausuntoa ETA-11/0190

$$d = 8,0 \text{ mm}$$

$$l_{ef} = 220 \text{ mm}$$

$$K_{ser} = 780 \cdot d^{0,2} \cdot l_{ef}^{0,4} = 780 \cdot 8,0^{0,2} \cdot 220^{0,4} = 10225 \text{ N/mm}$$

$$n_{ef} = 2,7 \text{ kpl}$$

$$n_s = 22 \text{ kpl (hirsien välisten saumojen lukumäärä)}$$

$$V_k = Q_{mean} = 14500 \text{ N}$$

$$F_{ax,\alpha,k} = \frac{V_k}{n_{ef} \cdot \cos 45^\circ} = \frac{14500}{2,7 \cdot \cos 45^\circ} = 7594,9 \text{ N}$$

$$u_{inst,s} = n_s \cdot \frac{F_{ax,\alpha,k}}{K_{ser}} \cdot \cos \alpha = 22 \cdot \frac{7594,9}{10225} \cdot \cos 45^\circ = 11,6 \text{ mm}$$

### 4.3 Seinän leikkaussiirtymä

Kuten edellisistä laskelmista nähdään, hirren leikkaussiirtymä on tässä tapauksessa lähes merkityksetön. Pääasiallinen leikkaussiirtymä muodostuu hirsien välisen ruuviliitoksen siirtymästä.

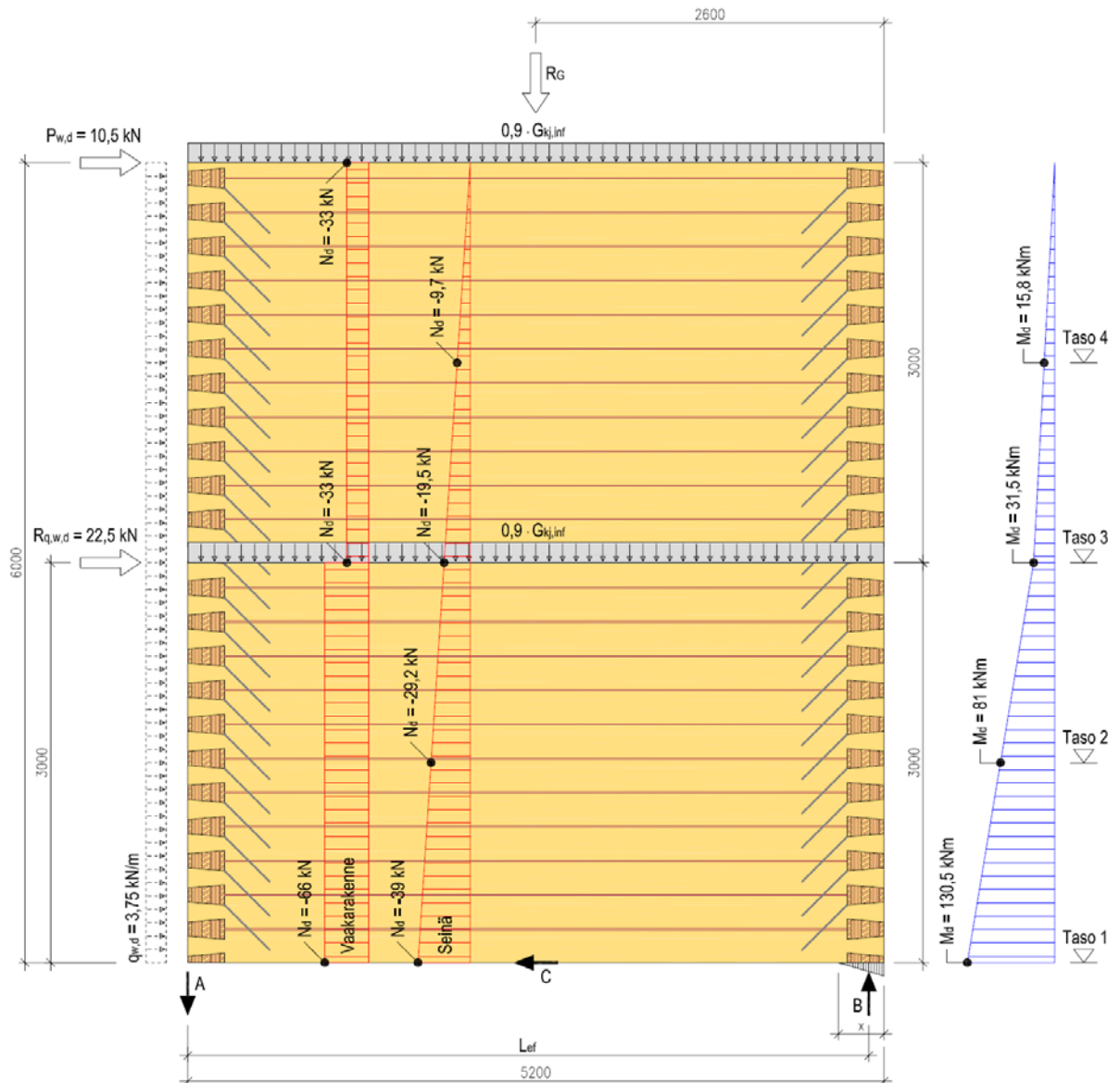
$$u_{inst} = u_{inst,log} + u_{inst,s} = 0,2 + 11,6 = 11,8 \text{ mm}$$

## 5.0 Jäykisteen tukien kestävyys ja ankkurointitarve

Tässä tapauksessa jäykistävään seinään kohdistuu tuulikuormat  $P_{w,d}$  sekä  $q_{w,d}$ , joka muodostaa resultantin  $R_{q,w,d}$ . Nämä ulkoiset voimat aiheuttavat seinään kaatavaa momenttia, joka kumotaan perustustasossa olevilla tukireaktioilla A ja B. Tukireaktion A puolella hirsien välisiin saumoihin ei saisi jäädä sellaista vetovoimaa, jota ei voida kumota rakenteiden omapainon avulla. Tämä johtuu siitä, että hirsiseinän ankkurointi erillisillä ankkurointiosilla on haastavaa. Haasteelliseksi hirsiseinän ankkuroinnin tekee se, että seinän pienikin painuma saa aikaan ankkurointiosien löystymisen. Jäykistävän hirsiseinän tulisi siis olla kokonaisuudessaan puristettu koko seinän korkeudella. Järeässä hirsiseinässä on luonnostaan omapainoa, joka kannattaa hyödyntää. Lisäksi mahdollisten vaakarakenteiden omapaino kannattaa ohjata jäykistävälle seinille. Myös risteävien seinien omapainoa kannattaa hyödyntää, koska nurkkasalvos tuo tämän kuorman automaattisesti jäykistävälle seinälle.

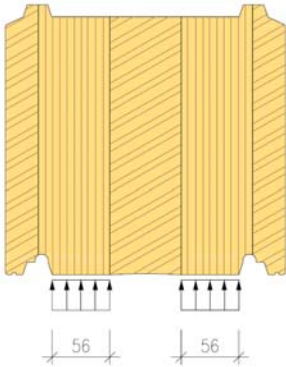
### 5.1 Seinän rasitukset

Tässä tapauksessa jäykistävään seinään muodostuu alla olevassa kuvassa olevat rasitukset. Omapainon resultantti  $R_G$  muodostuu vaakarakenteiden (viivakuormat) ja hirsiseinän omapainosta. Seinän omapaino kasvaa alaspäin mentäessä. Omapainojen N-pinnat on esitetty alla olevassa kuvassa.



### 5.2 Puristetun alueen pituus tukireaktiolle B

CLL Log-seinässä tukipinnan kestävyyttä mitoitettaessa vain pystysuuntaiset lamellit voidaan huomioida.



Pystysuuntaisten lamellien yhteenlaskettu paksuus  $t_{ef} = 56 + 56 = 112$  mm

Seinän pituus  $L = 5200$  mm

Seinän korkeus  $H = 6000$  mm

Käyttöluokka: 2

Aikaluokka: hetkellinen

$\gamma_M = 1,3$  (CLL Log, sahatavara C24)

$k_{mod} = 1,1$

$f_{c,0,k} = 21,0$  N/mm<sup>2</sup> (CLL Log, sahatavara C24)

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 21,0 = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

$$x = \frac{\frac{P_{w,d} \cdot H}{\left(L - \frac{x}{3}\right)} + \frac{R_{q,w,d} \cdot \frac{H}{2}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)} + \frac{R_G \cdot \frac{L}{2}}{\left(L - \frac{x}{3}\right)}}{0,5 \cdot f_{c,0,d} \cdot t_{ef}} \Rightarrow \frac{\frac{10500 \cdot 6000}{\left(5200 - \frac{x}{3}\right)} + \frac{22500 \cdot \frac{6000}{2}}{\left(5200 - \frac{x}{3}\right)} + \frac{105000 \cdot \frac{5200}{2}}{\left(5200 - \frac{x}{3}\right)}}{0,5 \cdot 17,8 \cdot 112} \Rightarrow \frac{403500000}{997}$$

$$996,8x = \frac{403500000}{\left(5200 - \frac{x}{3}\right)} \Rightarrow \left(5200 - \frac{x}{3}\right) \cdot 997x = 403500000$$

$$5184400x - 332x^2 = 403500000$$

$$-332x^2 + 5184400x - 403500000 = 0$$

$$x = \frac{-5184400 \pm \sqrt{5184400^2 - (4 \cdot -332 \cdot -403500000)}}{2 \cdot -332}$$

$$x = 78,2 \text{ mm}$$

### 5.3 Tuen B tukipainekestävyys

$\gamma_M = 1,3$  (CLL Log, sahatavara C24)

$k_{mod} = 1,1$

$f_{c,0,k} = 21,0$  N/mm<sup>2</sup> (CLL Log, sahatavara C24)

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,0,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 21,0 = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

Tukireaktioiden A ja B välinen etäisyys  $L_{ef} = L - \frac{x}{3} = 5200 - \frac{78,2}{3} = 5173,9$  mm

$$B = \frac{P_{w,d} \cdot H}{L_{ef}} + \frac{R_{q,w,d} \cdot \frac{H}{2}}{L_{ef}} + \frac{R_G \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}} = \frac{10500 \cdot 6000}{5173,9} + \frac{22500 \cdot \frac{6000}{2}}{5173,9} + \frac{105000 \cdot \frac{5200}{2}}{5173,9} = 77987,6 \text{ N} \approx 78,0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,d} = \frac{B}{0,5 \cdot t_{ef} \cdot x} = \frac{77987,6}{0,5 \cdot 112 \cdot 78,2} = 17,8 \text{ N/mm}^2 \leq 17,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (käyttöaste 100 \%)} \text{ OK}$$

### 5.4 Tuen A ankkurointitarve

Tarkastetaan tukireaktion A puolelta, että tulee hirsien välisiin saumoihin vetoa vai pysyykö seinä kauttaaltaan puristettuna koko seinän korkeudella. Tarkastus tulisi tehdä kaikissa hirsien välisissä vaakasaumoissa, mutta tämän esimerkkilaskelman yksinkertaistamiseksi tehdään tarkastus tasoilla 1...4. Käytännössä jäykistävän hirsiseinän mitoittamisessa kannattaisi käyttää esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmaa, jolloin saataisiin yksityiskohtainen analyysi jokaisen hirsikerran kohdalta.

Taso 1

$$A = B - R_G = 77987,6 - 105000 = -27012,4 \text{ N} \approx -27 \text{ kN (puristettu)}$$

Taso 2

$$B = \frac{M_d}{L_{ef}} + \frac{\sum N_{d,2} \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}} = \frac{81000000}{5173,9} + \frac{95200 \cdot \frac{5200}{2}}{5173,9} = 63495,6 \text{ N} \approx 63 \text{ kN}$$

$$A = B - \sum N_{d,2} = 63495,6 - 95200 = -31704,4 \text{ N} \approx -32 \text{ kN (puristettu)}$$

Taso 3

$$B = \frac{M_d}{L_{ef}} + \frac{\sum N_{d,3} \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}} = \frac{31500000}{5173,9} + \frac{52500 \cdot \frac{5200}{2}}{5173,9} = 32470,7 \text{ N} \approx 32 \text{ kN}$$

$$A = B - \sum N_{d,3} = 32470,7 - 52500 = -20029,3 \text{ N} \approx -20 \text{ kN (puristettu)}$$

Taso 4

$$B = \frac{M_d}{L_{ef}} + \frac{\sum N_{d,4} \cdot \frac{L}{2}}{L_{ef}} = \frac{15800000}{5173,9} + \frac{42700 \cdot \frac{5200}{2}}{5173,9} = 24509,7 \text{ N} \approx 25 \text{ kN}$$

$$A = B - \sum N_{d,4} = 24509,7 - 42700 = -18190,3 \text{ N} \approx -18 \text{ kN (puristettu)}$$

Tässä tapauksessa seinä pysyy puristettuna myös tukireaktion A puolella, joten seinä ei tarvitse erillistä ankkurointia.

### 6.0 Seinän kiinnitys alustaan

Seinä kiinnitetään perustukseen tukireaktiolle C, joka tässä tapauksessa on murtorajatilan leikkausvoimapinnan maksimi  $Q_d = 33$  kN.

### Lisätiedot

- VTT-S-01088-16

Laskelman tekijä ei vastaa laskelman mahdollisista virheistä ja niistä aiheutuneista vahingoista laskelman käyttäjälle ja mahdolliselle kolmannelle osapuolelle. Laskelman käyttäjä käyttää laskelmaa omalla vastuulla ja on itse vastuussa tulosten oikeellisuudesta.