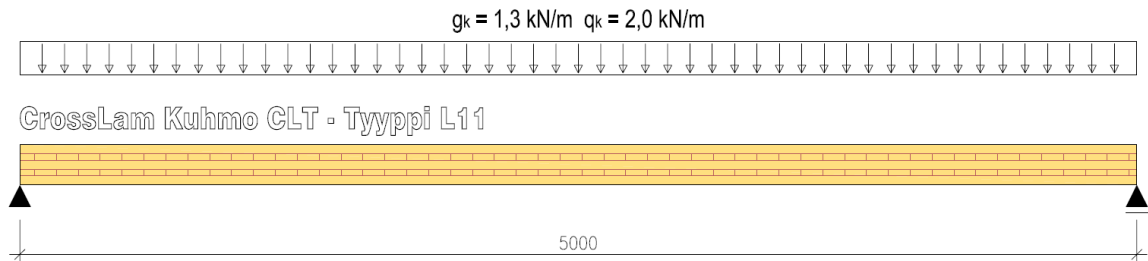


Välipohjan kestävyys

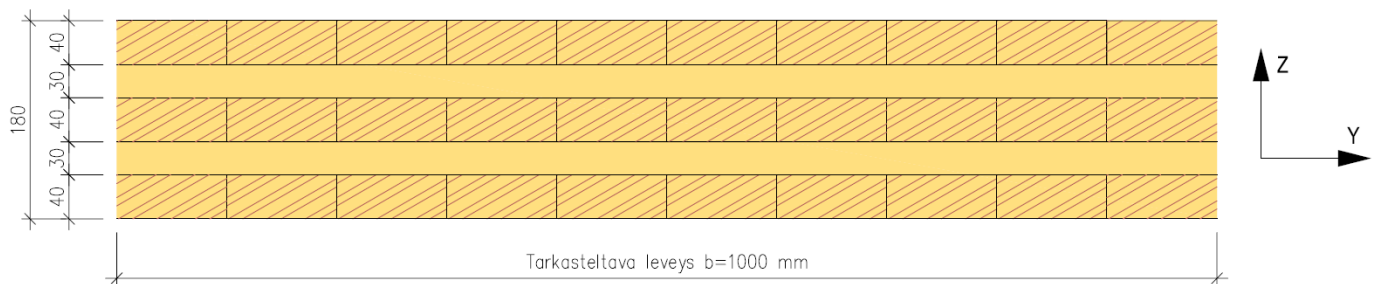
1.0 Kuormitus

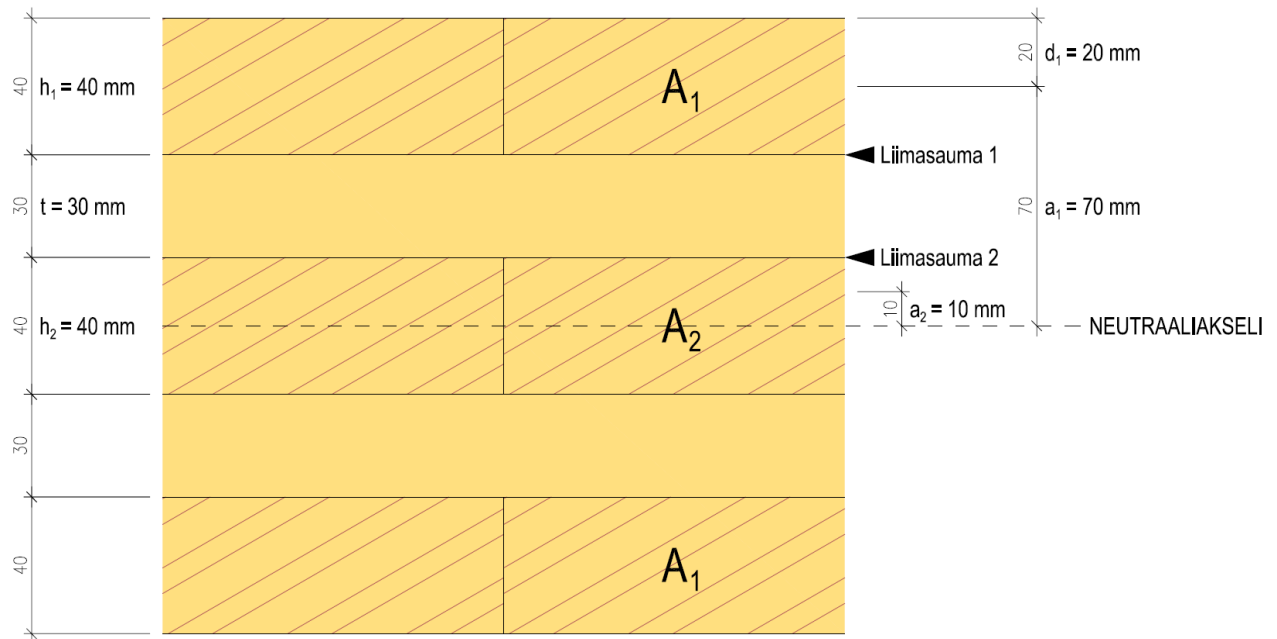
Asuinrakennuksen välipohjan ominaiskuormat on esitetty alla olevassa kuvassa. Seuraamusluokka on CC2 → $K_{FI} = 1,0$ (ei esitetä laskelmassa). Tässä laskelmassa tarkastetaan vain yksi kuormitustapaus. Myös muut kuormitustapaukset tulee tarkastaa.



2.0 Poikkileikkaus

CrossLam Kuhmo CLT-välipohjan kestävyys mitoitetaan välipohjan jännevälin suuntaisten lamellien avulla. Poikittaissuuntaiset lamellit voidaan huomioida värähtelymitoituksessa. Poikittaissuuntaiset lamellit kuormittuvat kohtisuorassa suunnassa syysuuntaa vastaan, joten ne aiheuttavat jännevälin suuntaisten lamellien välille liukumaa. Liukuma alentaa CLT-poikkileikkauksen taivutusjäykkyyttä, joten CLT-poikkileikkaukselle tulee määrittää teholliset poikkileikkausvakiot. Seuraavassa esitetty tehollisen jäykkyyden mitoitusmenetelmä pätee, kun CLT-levyssä on **enintään viisi** lamellikerrosta.





2.1 Tehollinen jäyhyysmomentti

$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$G_{R,mean} = 65 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin tasoleikkauksen liukumoduuli)

$L = 5000 \text{ mm}$ (välipohjan jänneväli)

$t = 30 \text{ mm}$

$b = 1000 \text{ mm}$ (tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys)

$h_1 = 40 \text{ mm}$

$h_2 = 40 \text{ mm}$

$a_1 = 70 \text{ mm}$

$a_2 = 10 \text{ mm}$

$d_1 = 20 \text{ mm}$

$$A_1 = b \cdot h_1 = 1000 \cdot 40 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b \cdot h_2 = 1000 \cdot 40 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1 \cdot t}{L^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 11500 \cdot 40000 \cdot 30}{5000^2 \cdot 65 \cdot 1000} \right)} = 0,922666$$

$$I_{y,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = \frac{1000 \cdot 40^3}{12} + 0,922666 \cdot 40000 \cdot 70^2 = 186175869 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,2} = \frac{b \cdot h_2^3}{12} = \frac{1000 \cdot 40^3}{12} = 53333333 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,L} = 2 \cdot I_{y,1} + I_{y,2} = 2 \cdot 186175869 + 53333333 = 377685071 \text{ mm}^4$$



2.2 Tehollinen taivutusvastus

$$W_{ef,L} = \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 \cdot a_1 + d_1} = \frac{377685071}{0,922666 \cdot 70 + 20} = 4465069 \text{ mm}^3$$

2.3 Teholliset staattiset momentit

$$S_{ef,1} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = 40000 \cdot 0,922666 \cdot 70 = 2583465 \text{ mm}^3$$

$$S_{ef,2} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot a_2 = 40000 \cdot 0,922666 \cdot 70 + \frac{40000}{2} \cdot 10 = 2783465 \text{ mm}^3$$

3.0 Taivutuskestävyys

$k_{mod} = 0,8$ (keskipitkä aikaluokka / käyttöluokka 1)

$\gamma_M = 1,25$ (CrossLam Kuhmo CLT - materiaalin osavarmuusluku)

$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin taivutuslujuus)

$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$$k_{sys} = \min \begin{cases} 1 + 0,025 \cdot n \\ 1,2 \end{cases} \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT - kuormanjakoluku})$$

$n =$ vierekkäisten lamellien määrä tarkasteltavassa poikkileikkauksessa

$n = 10$ kpl tässä esimerkkilaskelmassa

$k_{sys} = 1,2$ tässä esimerkkilaskelmassa

$$M_{y,d} = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot L^2}{8} = \frac{(1,15 \cdot 1,3 + 1,5 \cdot 2,0) \cdot 5^2}{8} = 14,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} = \frac{14,0 \cdot 10^6}{4465069} = 3,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 24,0 \cdot 1,2 = 18,4 \text{ N/mm}^2 > 3,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (käyttöaste 17 \%)} \text{ OK}$$

4.0 Leikkauskestävyys liimasaumassa 1 ja 2

Poikittaislamellin leikkausjännitys voidaan olettaa samaksi koko lamellin korkeudella, joten liimasaumassa 1 on sama leikkausjännitys kuin liimasaumassa 2.

$k_{mod} = 0,8$ (keskipitkä aikaluokka / käyttöluokka 1)

$\gamma_M = 1,25$ (CrossLam Kuhmo CLT - materiaalin osavarmuusluku)

$f_{R,k,0^\circ} = 1,03 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - Tyyppi L11 - tasoleikkauslujuus, ks. osa 1 taulukko 5)

$$V_d = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot L}{2} = \frac{(1,15 \cdot 1,3 + 1,5 \cdot 2,0) \cdot 5}{2} = 11,2 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{ef,1}}{I_{ef,L} \cdot b} = \frac{11200 \cdot 2583465}{377685071 \cdot 1000} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{R,d,0^\circ} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{R,k,0^\circ} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 1,03 = 0,66 \text{ N/mm}^2 > 0,08 \text{ N/mm}^2 \text{ (käyttöaste 12 \%)} \text{ OK}$$

5.0 Leikkauskestävyys neutraaliakselilla

$k_{mod} = 0,8$ (keskipitkä aikaluokka / käyttöluokka 1)

$\gamma_M = 1,25$ (CrossLam Kuhmo CLT - materiaalin osavarmuusluku)

$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin leikkauslujuus)

$$V_d = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot L}{2} = \frac{(1,15 \cdot 1,3 + 1,5 \cdot 2,0) \cdot 5}{2} = 11,2 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{ef,2}}{I_{ef,L} \cdot b} = \frac{11200 \cdot 2783465}{377685071 \cdot 1000} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 4,0 = 2,56 \text{ N/mm}^2 > 0,08 \text{ N/mm}^2 \text{ (käyttöaste 3 \%)} \text{ OK}$$

6.0 Taipuma

$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$k_{def} = 0,8$ (CrossLam Kuhmo CLT - virumakerroin lappeellaan taivutuksessa)

$\psi_2 = 0,3$

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{ef,L}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,3 \cdot 5000^4}{11500 \cdot 377685071} = 2,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I_{ef,L}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,0 \cdot 5000^4}{11500 \cdot 377685071} = 3,7 \text{ mm}$$

$$\Sigma w_{inst} = 2,4 + 3,7 = 6,1 \text{ mm} < L / 400 \text{ (12,5 mm)} \text{ (käyttöaste 49 \%)} \text{ OK}$$

$$w_{fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,q} = 2,4 \cdot (1 + 0,8) + (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 3,7 = 8,9 \text{ mm}$$

$$\Sigma w_{fin} = 8,9 \text{ mm} < L / 300 \text{ (16,7 mm)} \text{ (käyttöaste 53 \%)} \text{ OK}$$

7.0 Värähtelymitoitus

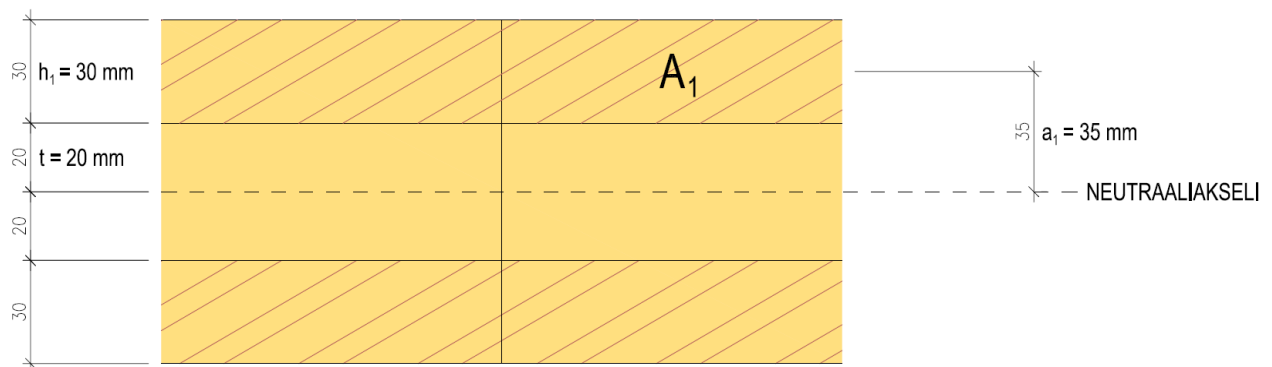
7.1 Tehollinen taivutusjäykkyys jännevälän suunnassa

$E_{0,mean} = 11500 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$I_{ef,L} = 0,000377685071 \text{ m}^4$ (kohta 2.1) (metrin leveää kaistaa kohti)

$(EI_{ef})_L = (11500 \cdot 10^6) \cdot 0,000377685071 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$ (metrin leveää kaistaa kohti)

7.2 Tehollinen taivutusjäykkyys poikittaissuunnassa



$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$E_{0,mean} = 11500 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin kimmomoduuli)

$G_{R,mean} = 65 \text{ N/mm}^2$ (CrossLam Kuhmo CLT - lamellin tasoleikkauksen liukumoduuli)

$L = 2400 \text{ mm}$ (CLT-levyn leveys, kohtisuoraan jänneväliä vastaan)

$t = 20 \text{ mm}$

$b = 1000 \text{ mm}$ (tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys)

$h_1 = 30 \text{ mm}$

$a_1 = 35 \text{ mm}$

$A_1 = b \cdot h_1 = 1000 \cdot 30 = 30000 \text{ mm}^2$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1 \cdot t}{L^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 11500 \cdot 30000 \cdot 20}{2400^2 \cdot 65 \cdot 1000} \right)} = 0,846101$$

$$I_{y,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = \frac{1000 \cdot 30^3}{12} + 0,846101 \cdot 30000 \cdot 35^2 = 33344212 \text{ mm}^4$$

$I_{ef,B} = 2 \cdot I_{y,1} = 2 \cdot 33344212 = 66688424 \text{ mm}^4$ (metrin leveää kaistaa kohti)

$I_{ef,B} = 0,000066688424 \text{ m}^4$ (metrin leveää kaistaa kohti)

$(EI_{ef})_B = (11500 \cdot 10^6) \cdot 0,000066688424 = 7,7 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$ (metrin leveää kaistaa kohti)



7.3 Ominataajuus

$$m = 133 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI_{ef})_L}{(m+30 \text{ kg})}} = \frac{\pi}{2 \cdot 5^2} \cdot \sqrt{\frac{4,3 \cdot 10^6}{(133+30)}} = 10 \text{ Hz} > 9 \text{ Hz OK}$$

7.4 Pistekuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$$F = 1,0 \text{ kN}$$

$$s = 1,0 \text{ m (tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys b)}$$

Huoneen suurin mitta on 6 m $\Rightarrow k = 1,0$ (ks. RIL 205-1-2009 kuva 7.2-FI)

Lattiarakenteen leveys $B = 2,4 \text{ m}$ (käytetään CLT-levyn leveyttä, koska levyjen väliset saumat ovat niveliä)

Välipohjan jänneväli $L = 5 \text{ m}$

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{(EI_{ef})_B}{(EI_{ef})_L}} = \sqrt[4]{\frac{7,7 \cdot 10^5}{4,3 \cdot 10^6}} = 0,65 > \frac{B}{L} = \frac{2,4}{5} = 0,48 \Rightarrow k_s = 0,48$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} \delta = \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_s \cdot (EI_{ef})_L} = \frac{1000 \cdot 5^2}{42 \cdot 0,48 \cdot 4,3 \cdot 10^6} = 0,29 \text{ mm} < 0,5 \text{ mm OK} \\ \delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot s \cdot (EI_{ef})_L} = \frac{1000 \cdot 5^3}{48 \cdot 1,0 \cdot 4,3 \cdot 10^6} = 0,61 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Lisätiedot

- Tuotesertifikaatti VTT-C-11272-14
- RIL 205-1-2009 CrossLam Kuhmo CLT päivitys
- EN 1995-1-1 + kansalliset liitteet
- EN 338

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.