

Esimerkkilaskelma

Kulmalevyliitos CLT-levyn lappeessa

17.1.2019

Sisällysluettelo

| | | |
|---|---|--------|
| 1 | YLEISTÄ..... | - 3 - |
| 2 | LÄHTÖTIEDOT..... | - 4 - |
| 3 | MATERIAALI | - 5 - |
| 4 | MITTA- JA ETÄISYSEHDOT | - 5 - |
| 5 | LEIKKAUSLIITOKSEN MITOITUS | - 6 - |
| 6 | LIITOKSEN HALKEAMIS- JA RIVILEIKKAUTUMISKESTÄVYYS | - 7 - |
| 7 | LÄPILOHKEAMISKESTÄVYYS | - 8 - |
| 8 | PALALOHKEAMISKESTÄVYYS..... | - 9 - |
| 9 | TERÄSKULMAN JA PERUSPULTIN MITOITUS..... | - 10 - |

1 YLEISTÄ

| | |
|-------------------------|--|
| Rakennuspaikka: | Helsinki |
| Rakenne: | Jäykistävän CLT-seinän perustusliitos |
| Seuraamusluokka: | CC2 |
| Normit: | Puurakenteet: ETA-14/0349 + RIL 205-1-2017 + Stora Enso CLT lisäohje (5.12.2017) |

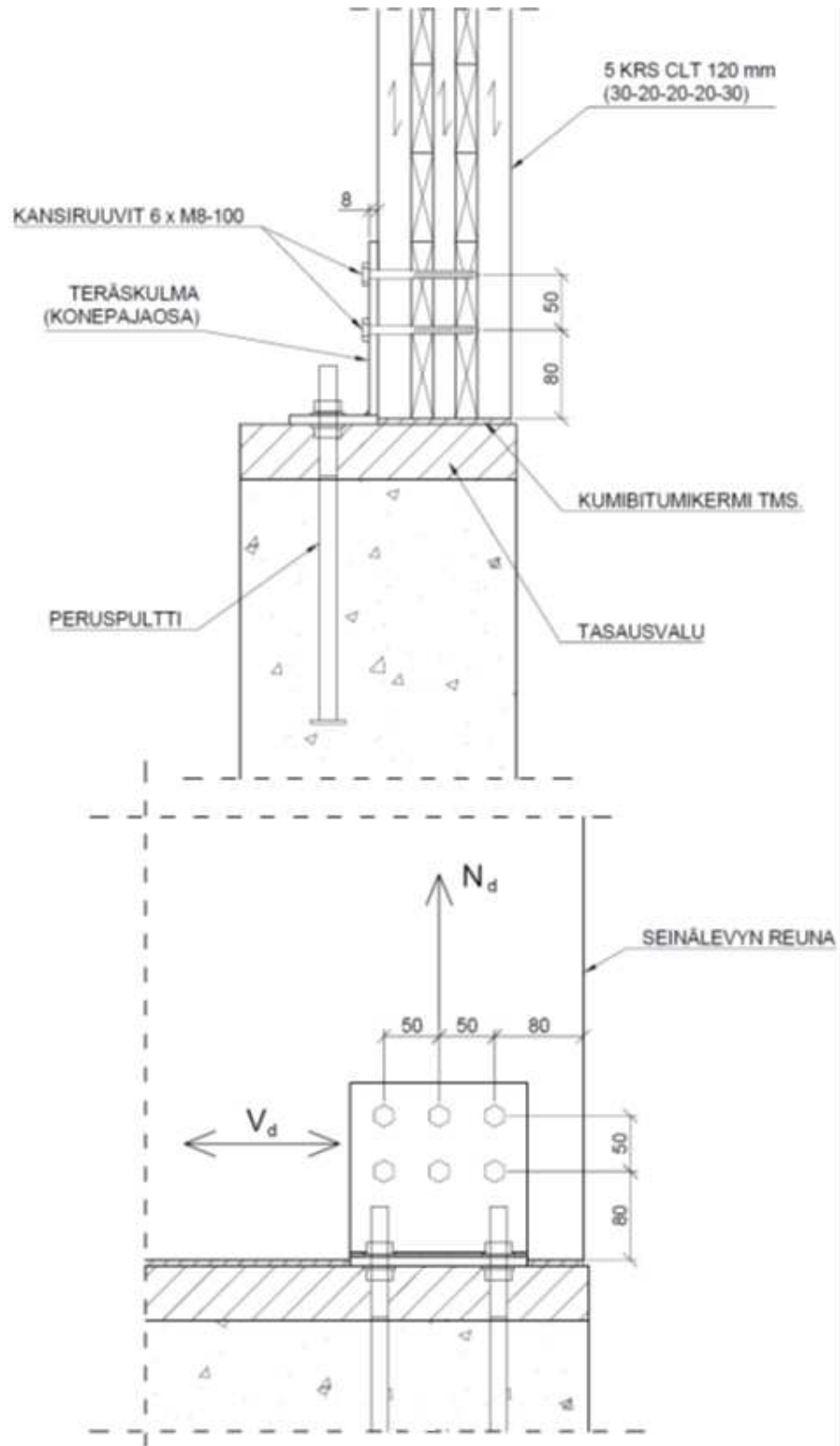
Tarkastellaan jäykistävän CLT-seinän perustusliitosta. Liitos toteutetaan kansiruuveilla kiinnitettävällä konepajassa valmistettavalla teräskulmalla. Liitosta rasittaa seinän suuntaiset voimat:

- vaakavoima $V_d = 30$ kN
- ankkurointivoima $N_d = 20$ kN

Voimat V_d ja N_d vaikuttavat samanaikaisesti. Voimien aikaluokka on hetkellinen (tuulikuorma) ja rakenteen käyttöluokka on 1. Käytettävä CLT on ETA-14/0349 mukaista, valmistaja on Stora Enso Wood Products.

2 LÄHTÖTIEDOT

Mitoitetaan kuvan mukainen CLT-levyn kulmalevyliitos.



3 MATERIAALI

Stora Enso CLT 120 mm (30-20-20-20-30)

Valmistettu kuusilamelleista, lamellien lujuusluokka C24.

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1

⇒ aika- ja käyttöluokka kerroin, $k_{mod} = 1,1$

CLT materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

Liitoskestävyyden osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,3$

Ruuveina käytetään 8x100 kansiruuveja, joiden lujuusluokka on 4.6. Kansiruuvin kierreosan pituus:

$$L_g = 0,6L = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ mm}$$

Sileän varren tunkeuma puussa:

$$100 - 60 - 8 = 32 \text{ mm} \quad (\text{teräslevy } 8 \text{ mm})$$

Ruuvi voidaan mitoittaa nimellishalkaisijan mukaan, kun sileän varren tunkeuma on vähintään $4d$.

$$\frac{32}{8}d = 4d \geq 4d \quad \text{OK}$$

Ruuvin myötömomentti:

$$M_y = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 8^{2,6} = 26740 \text{ Nmm}$$

4 MITTA- JA ETÄISYYSEHDOT

Ruuvin halkaisija lapeliitoksessa:

$$d = 8 \text{ mm} \geq 6 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Päätyetäisyys CLT-levyssä:

$$a_{3,t} = 80 \text{ mm} \geq 5d = 5 \cdot 8 = 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Reunaetäisyys CLT-levyssä:

$$a_{4,t} = 80 \text{ mm} \geq 5d = 5 \cdot 8 = 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Liitinväli CLT-levyssä:

$$a_1 = 50 \text{ mm} \geq 5d = 5 \cdot 8 = 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$a_2 = 50 \text{ mm} \geq 5d = 5 \cdot 8 = 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

⇒ Kansiruuvi-liitos voidaan mitoittaa RIL 205-1-2017 mukaan pulttiliitoksen sääntöjä soveltaen.

5 LEIKKAUSLIITOKSEN MITOITUS

Sovelletaan pulttiliitokselle annettuja ohjeita. Resultanttivoiman suunta pintalamellin syysuuntaan nähden:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{V_d}{N_d}\right) = \arctan\left(\frac{30\text{kN}}{20\text{kN}}\right) = 56,3^\circ$$

Liitosvoima:

$$F_d = \sqrt{V_d^2 + N_d^2} = \sqrt{30^2 + 20^2} = 36,1\text{kN}$$

CLT-levyn reunapuristuslujuus (kuusilamellit):

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{32(1-0,015d)}{1,1\sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,\alpha,k} = \frac{32(1-0,015 \cdot 8)}{1,1\sin^2 56,3^\circ + \cos^2 56,3^\circ} = 26,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Teräslevyn ja puun välinen yksileikkeinen liitos:

-paksu teräslevy $t = 8 \text{ mm} \geq d$

-liittimen ominaiskestävyys:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h \cdot t \cdot d \\ 1,3 \cdot f_h \cdot t \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h \cdot d \cdot t^2}} - 1 \right] \\ 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{array} \right.$$

missä: $f_h = 26,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$t = 100 - 8 = 92 \text{ mm}$ (ruuvin tunkeuma puussa)

$d = 8 \text{ mm}$

$M_y = 26740 \text{ Nmm}$

$$\Rightarrow R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 26,3 \cdot 92 \cdot 8 = 19357 \text{ N} \\ 1,3 \cdot 26,3 \cdot 92 \cdot 8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 26740}{16,3 \cdot 8 \cdot 92^2}} - 1 \right] = 10953 \text{ N} \Rightarrow R_k = 7116 \text{ N} \\ 3 \cdot \sqrt{26740 \cdot 26,3 \cdot 8} = 7116 \text{ N} \end{array} \right.$$

Liittimen mitoituskestävyys:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_k$$

missä: $k_{\text{mod}} = 1,1$

$\gamma_M = 1,3$

$$R_d = \frac{1,1}{1,3} \cdot 7116 \text{ N} = 6021 \text{ N}$$

Liitosryhmän kestävyys resultanttivoimalle:

$$F_{R,d} = 6 \cdot 6021 \text{ N} = 36,1 \text{ kN}$$

Käyttöaste $\frac{F_d}{F_{R,d}} = \frac{36,1}{36,1} = 100 \% \leq 100 \%$ OK

6 LIITOKSEN HALKEAMIS- JA RIVILEIKKAUTUMISKESTÄVYYS

Peräkkäisten liittimien tehollinen lukumäärä pintalamellien syiden suuntaiselle voimakomponentille N_d :

$$n_{ef} = \min \left\{ n_i \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50d^2}} \right.$$

missä: $n_i = 2$

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

$$a = \min(a_1, a_3) = 50 \text{ mm}$$

$$t = 92 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50 \cdot 92}{50 \cdot 8^2}} = 2,04 \Rightarrow n_{ef} = 2 \right.$$

⇒ Kaikki liittimet toimivat tehollisesti, puu ei halkea/rivileikkaudu. OK

Peräkkäisten liittimien tehollinen lukumäärä poikkilamellien syiden suuntaiselle voimakomponentille V_d :

$$n_{ef} = \min \left\{ n_i \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50d^2}} \right.$$

missä: $n_i = 3$

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

$$a = \min(a_1, a_3) = 50 \text{ mm}$$

$$t = 92 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50 \cdot 92}{50 \cdot 8^2}} = 2,94 \Rightarrow n_{ef} = 2,94 \right.$$

Liitinryhmän ruuvien tehollinen lukumäärä:

$$N_{ef} = 2 \cdot n_{ef} = 2 \cdot 2,94 = 5,88$$

Vaakavoimakestävyys:

$$V_{R,d} = N_{ef} \cdot R_d = 5,88 \cdot 6021 \text{ N} = 35,4 \text{ kN}$$

Käyttöaste $\frac{V_d}{V_{R,d}} = \frac{30}{35,4} = 85 \% \leq 100 \%$ OK

7 LÄPILOHKEAMISKESTÄVYYS

Puun läpilohkeamiskestävyyden ominaisarvo:

$$F_{bt,k} = L_{net,t} \cdot t_1 \cdot k_{bt} \cdot f_{t,0,k}$$

Pystysuuntaisen voiman N_d suunnassa:

t_1 on pituussuuntaisten lamellien yhteenlaskettu paksuus ruuvipituudella:

$$t_1 = 30 + 20 = 50 \text{ mm}$$

$$L_{net,t} = (n_2 - 1)(a_2 - D) = (3 - 1)(50 - 8) = 84 \text{ mm}$$

$$k_{bt} = 1,5 \quad \text{CLT:llä}$$

$$f_{t,0,k} = 14,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{lamellien lujuusluokka C24}$$

$$F_{bt,k} = 84 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} \cdot 1,5 \cdot 14,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 91,4 \text{ kN}$$

Mitoituskestävyys:

$$F_{bt,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{bt,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 91,4 \text{ kN} = 77,3 \text{ kN}$$

Käyttöaste $\frac{N_d}{F_{bt,d}} = \frac{20}{77,3} = 26 \% \leq 100 \%$ OK

Vaakasuuntaisen voiman V_d suunnassa:

t_1 on poikkisuuntaisten lamellien yhteenlaskettu paksuus ruuvipituudella:

$$t_1 = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$$

$$L_{net,t} = (n_1 - 1)(a_1 - D) = (2 - 1)(50 - 8) = 42 \text{ mm}$$

$$F_{bt,k} = 42 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} \cdot 1,5 \cdot 14,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 36,5 \text{ kN}$$

Mitoituskestävyys:

$$F_{bt,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{bt,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 36,5 \text{ kN} = 30,9 \text{ kN}$$

Käyttöaste $\frac{V_d}{F_{bt,d}} = \frac{30}{30,9} = 97 \% \leq 100 \%$ OK

8 PALALOHKEAMISKESTÄVYYS

Puun palalohkeamiskestävyden ominaisarvo:

$$F_{ps,k} = L_{net,t}(t_{ef} \cdot f_{t,0,k} + (a_3 + (n_1 - 1) \cdot a_1) \cdot f_{v,k})$$

missä: $t_{ef} = \frac{R_k}{d \cdot f_{h,0,k}}$

$$f_{v,k} = f_{v,9090,k} \quad \text{CLT-levyllä poikittaislamellin tasoleikkauslujuus (rolling shear)}$$

n_1 on peräkkäisten liittimien lukumäärä tarkasteltavassa kuormitus suunnassa

a_1 on peräkkäisten liittinten välinen etäisyys tarkasteltavassa kuormitus suunnassa

a_3 on päätyetäisyys

$$f_{t,0,k} = 14,5 \frac{N}{mm^2} \quad \text{lamellien lujuusluokka C24}$$

$L_{net,t}$ kuten läpilohkeamiskestävyden laskennassa

Pystysuuntaisen voiman N_d suunnassa:

reunapuristuslujuus: $f_{h,0,k} = \frac{32(1-0,015 \cdot 8)}{1,1 \sin^2 0^\circ + \cos^2 0^\circ} = 28,2 \frac{N}{mm^2}$

liitinkestävyys R_k kuormitus suunnassa $\alpha = 0^\circ$:

$$R_k = 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 3 \cdot \sqrt{26740 \cdot 28,2 \cdot 8} = 7363 \text{ N}$$

$$t_{ef} = \frac{7363}{8 \cdot 28,2} = 32,7 \text{ mm}$$

$$f_{v,9090,k} = \min \left\{ 1,25; 1,45 - \frac{t_{cr}}{100} \right\} \frac{N}{mm^2} \quad \text{Stora Enso CLT kuusilamelleilla}$$

missä t_{cr} on paksuimman poikittaissuuntaisen lamellin paksuus millimetreinä.

$$\Rightarrow f_{v,9090,k} = \min \left\{ 1,25; 1,45 - \frac{20}{100} \right\} \frac{N}{mm^2} = 1,25 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{ps,k} = 84 \cdot (32,7 \cdot 14,5 + (80 + (2 - 1) \cdot 50) \cdot 1,25) = 53,5 \text{ kN}$$

Mitoituskestävyys:

$$F_{ps,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{ps,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 53,5 \text{ kN} = 45,3 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste} \quad \frac{N_d}{F_{ps,d}} = \frac{20}{45,3} = 44 \% \leq 100 \% \quad \text{OK}$$

Vaakasuuntaisen voiman V_d suunnassa:

$$\text{reunapuristuslujuus: } f_{h,90,k} = \frac{32(1-0,015 \cdot 8)}{1,1\sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 25,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

liitinkestävyys R_k kuormitussuunnassa $\alpha = 90^\circ$:

$$R_k = 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 3 \cdot \sqrt{26740 \cdot 25,6 \cdot 8} = 7020 \text{ N}$$

$$t_{ef} = \frac{7020}{8 \cdot 25,6} = 34,3 \text{ mm}$$

$$f_{v,90,90,k} = \min \left\{ 1,25; 1,45 - \frac{30}{100} \right\} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{ps,k} = 42 \cdot (34,3 \cdot 14,5 + (80 + (3 - 1) \cdot 50) \cdot 1,15) = 29,6 \text{ kN}$$

Mitoituskestävyys:

$$F_{ps,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{ps,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 29,6 \text{ kN} = 25,0 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste } \frac{V_d}{F_{ps,d}} = \frac{30}{25,0} = 120 \% \geq 100 \% \quad \text{EI KÄY!}$$

Palalohkeamiskestävyys ei ole riittävä. Liitosgeometriaa olisi muutettava, esimerkiksi kasvatettava pystysuunnassa ruuviväli 60 mm:iin.

Huom. Todellinen palalohkeamispinta ei ole kuitenkaan teorian mukainen, jossa materiaali on oletettu "homogeeniseksi" ottamatta huomioon lamellien paksuuksia. Mitoitusmenetelmä on varmalla puolella. Parempia kokeellisesti todennettuja malleja ei ole vielä kehitetty.

9 TERÄSKULMAN JA PERUSPULTIN MITOITUS

Teräskulma on mitoitettava liitosvoimalle, jonka vaakavoimakomponentin epäkeskisyyden suuruus on pystysuunnassa $a_3 + \frac{a_1}{2}$. Vaakasuunnassa liitosvoiman epäkeskisyyden suuruus on peruspulttien ja kulman pystylaipan välinen keskiöetäisyys e . Teräsosalle tehdään EC3 mukainen mitoitus, ei käsitellä tässä esimerkissä.

Lisäksi on mitoitettava peruspulttien ankkurointi betoniin (vetovoima N_d ja leikkausvoima $V_d + V_d e/z$). Mitoitusta ei käsitellä tässä esimerkissä.