

## Moduuli 1

### Kotitehtävä 2\_VASTAUS (5 pistettä)

19.11.2018

#### 1.0 Tehollinen jäyhyysmomentti (0,25 p)

$$b_{ef} = 20 + 20 = 40 \text{ mm (ks. viereinen kuva)}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$I_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^3}{12} = \frac{40 \cdot 400^3}{12} = 0,213 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

#### 2.0 Tehollinen taivutusvastus (0,25 p)

$$b_{ef} = 20 + 20 = 40 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$W_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^2}{6} = \frac{40 \cdot 400^2}{6} = 1,067 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

#### 3.0 Poikkileikkausala leikkausmitoituksessa (0,25 p)

$$k_{cr} = 1,0 \text{ (CrossLam Kuhmo CLT - halkeilukerroin)}$$

$$b = 130 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A = k_{cr} \cdot b \cdot h = 1,0 \cdot 130 \cdot 400 = 52000 \text{ mm}^2$$

#### 4.0 Taivutuskestävyys (0,75 p)

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

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,d} = \frac{(1,15 \cdot P_{g,k} + 1,5 \cdot P_{q,k}) \cdot L}{4} = \frac{(1,15 \cdot 7,0 + 1,5 \cdot 14) \cdot 2}{4} = 14,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,y}} = \frac{14,5 \cdot 10^6}{1,067 \cdot 10^6} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 24,0 = 15,4 \text{ N/mm}^2 > 13,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (88 \% ) OK}$$

#### 5.0 Leikkauskestävyys (0,75 p)

CrossLam Kuhmo CLT-palkin leikkausvoimaa ei saa pienentää tukien läheisyydessä ( $V_{red}$  käyttö kielletty). Tässä tapauksessa leikkausvoima on vakio, joten mitään pienennettävää ei olisikaan.

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

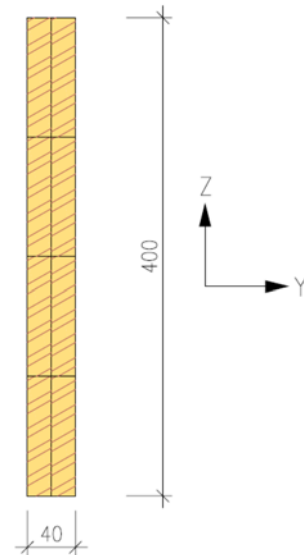
$$\gamma_M = 1,25 \text{ (CrossLam Kuhmo CLT - materiaalin osavarmuuskertoimen luku)}$$

$$f_{v,k} = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{(1,15 \cdot P_{g,k} + 1,5 \cdot P_{q,k})}{2} = \frac{(1,15 \cdot 7,0 + 1,5 \cdot 14)}{2} = 14,5 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14500}{52000} = 0,42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 2,46 = 1,57 \text{ N/mm}^2 > 0,42 \text{ N/mm}^2 \text{ (27 \% ) OK}$$



## 6.0 Kiepahduskestävyys (2 p)

Kuorma tulee palkille kiepahdustukien kautta, joten tehollinen kiepahduspituus on kiepahdustukien väli.

$$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{R,mean} = 65 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$\ell_{ef} = 1000 \text{ mm}$$

$$t = 15 \text{ mm}$$

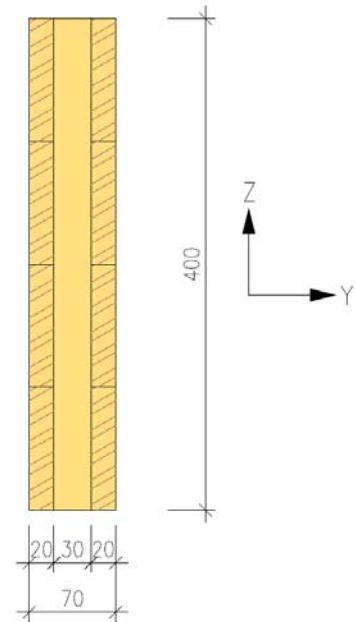
$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h_1 = 20 \text{ mm}$$

$$a_1 = 25 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = 70 \text{ mm}$$

Kiepahduskestävyys tarkastetaan viereisen kuvan poikkileikkaukselle y-suunnan tehollisen jäyhyysmomentin ja z-suunnan tehollisen taivutusvastuksen avulla määritellyn kriittisen taivutusjännityksen perusteella.



$$A_1 = b \cdot h_1 = 400 \cdot 20 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1 \cdot t}{\ell_{ef}^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right)} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot 11500 \cdot 8000 \cdot 15}{1000^2 \cdot 65 \cdot 400} \right)} = 0,6562$$

$$I_{z,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = \frac{400 \cdot 20^3}{12} + 0,6562 \cdot 8000 \cdot 25^2 = 3,548 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,z} = 2 \cdot I_{z,1} = 2 \cdot 3,548 \cdot 10^6 = 7,096 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{ef,y} = 1,067 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{tor} = \frac{h \cdot b_{ef}^3 \cdot \left( 1 - 0,63 \cdot \frac{b_{ef}}{h} \right)}{3} = \frac{400 \cdot 70^3 \cdot \left( 1 - 0,63 \cdot \frac{70}{400} \right)}{3} = 4,069 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_{ef,z} \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{\ell_{ef} \cdot W_{ef,y}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{7400 \cdot 7,096 \cdot 10^6 \cdot 460 \cdot 4,069 \cdot 10^7}}{1000 \cdot 1,067 \cdot 10^6} = 92,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{92,3}} = 0,51$$

$$k_{crit} = 1,0$$

$$k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 15,4 = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$13,6 \leq 15,4 \text{ (88 \% OK)}$$

## 7.0 Taipuma (0,75 p)

$$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{def} = 0,6$$

$$\psi_2 = 0,2$$

$$w_{inst,g} = \frac{P_{g,k} \cdot L^3}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}} = \frac{7000 \cdot 2000^3}{48 \cdot 11500 \cdot 0,213 \cdot 10^9} = 0,48 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{P_{q,k} \cdot L^3}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}} = \frac{14000 \cdot 2000^3}{48 \cdot 11500 \cdot 0,213 \cdot 10^9} = 0,95 \text{ mm}$$

$$\Sigma w_{inst} = 0,48 + 0,95 = 1,43 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,q} = 0,48 \cdot (1 + 0,6) + (1 + 0,2 \cdot 0,6) \cdot 0,95 = 1,8 \text{ mm}$$

$$\Sigma w_{fin} = 1,8 \text{ mm} < L / 200 (10 \text{ mm}) (18 \%) \text{ OK}$$