

Esimerkkilaskelma

Suora liimapuupalkki

Liittyy Puuinfo Oy:n julkaisemaan mitoitushjelmaan

13.9.2018

1.0 Lähtötiedot

Palkkijako: $k=8000$ mm

Palkin jänneväli: $L=20000$ mm

Palkin poikkileikkaus: $(b=240$ mm) \times $(h=1665$ mm)

Sekundäärin jatkuvuus: 3-aukkoinen (kerroin 1,10)

Tukijako Y-suunnassa: $a=2500$ mm

Esikorotus: $L/400$

Lujuusluokka: GL30c

Käyttöluokka: 1

Kuormitus tulee palkille: puristetulta reunalta

Kattorakenteen omapaino: $g_{k,1} = 0,9$ kN/m²

Ripustuskuorma (LVIS): $g_{k,2} = 0,1$ kN/m²

Palkin omapaino: $g_{k,palkki} = 2,00$ kN/m

Lumikuorma katolla: $q_k = 2,0$ kN/m²

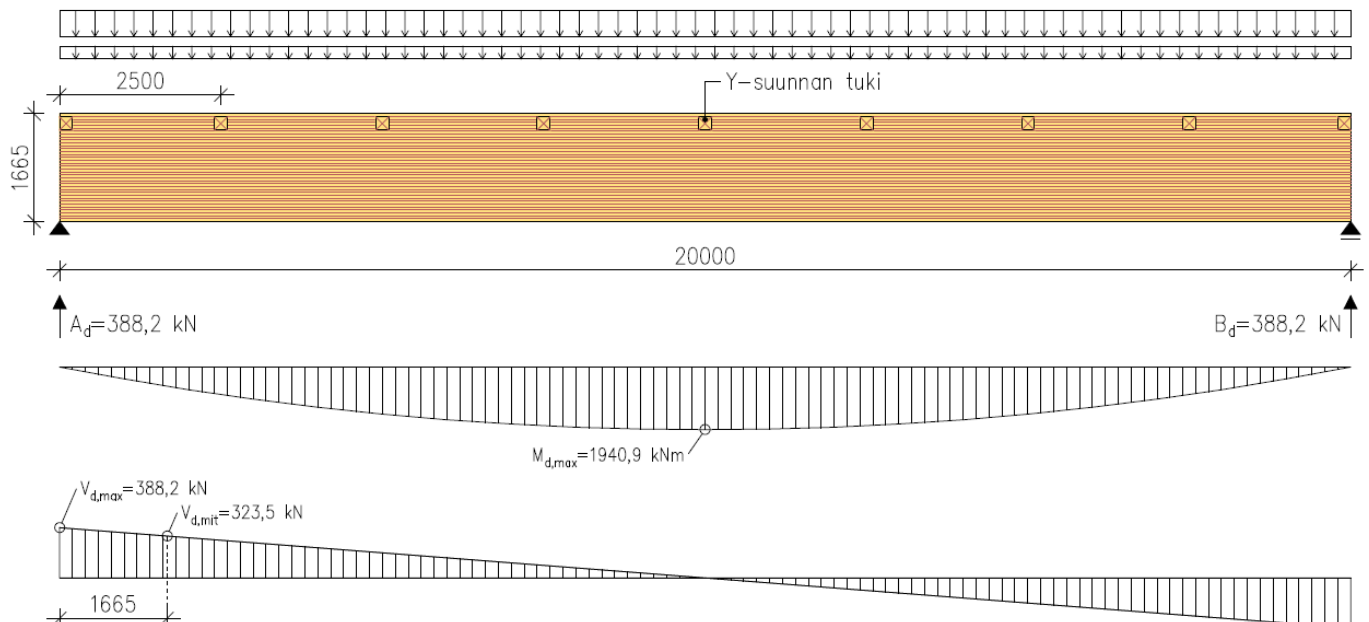
2.0 Rasitukset

Kuormitustapaus 1: omapaino 100 % + symmetrinen lumikuorma 100 %

Aikaluokka: keskipitkä

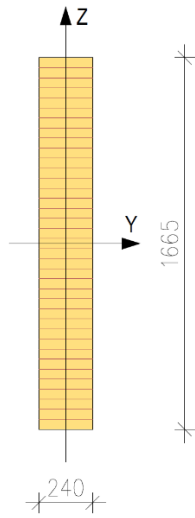
$$\sum g_k = 1,10 \cdot 8 \text{ m} \cdot (0,9 \text{ kN/m}^2 + 0,1 \text{ kN/m}^2) + 2,00 \text{ kN/m} = 10,8 \text{ kN/m}$$

$$\sum q_k = 1,10 \cdot 8 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 17,6 \text{ kN/m}$$



3.0 Materiaaliominaisuudet

$$\begin{aligned} \gamma_M &= 1,25 \\ k_{mod} &= 0,80 \\ k_{def} &= 0,60 \\ k_h &= 1,00 \\ f_{m,y,k} &= 30,00 \text{ N/mm}^2 \\ f_{v,k} &= 3,50 \text{ N/mm}^2 \\ f_{c,90,k} &= 2,50 \text{ N/mm}^2 \\ E_{0,mean} &= 13000 \text{ N/mm}^2 \\ E_{0,05} &= 10800 \text{ N/mm}^2 \\ G_{mean} &= 650 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



4.0 Taivutuskestävyys ($M_{d,max}$)

Kuormitustapaus 1

$$M_{d,max} = 1940,9 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{240 \cdot 1665^2}{6} = 110889000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{d,max}}{W_y} = \frac{1940,0 \cdot 10^6}{110889000} = 17,49 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,y,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 30,00 = 19,20 \text{ N/mm}^2$$

$$EHTO: \sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d} \Rightarrow 17,49 \text{ N/mm}^2 \leq 19,20 \text{ N/mm}^2 \quad (91 \% \text{ OK kestä})$$

5.0 Kiepahduskestävyys ($M_{d,max}$)

Kuormitustapaus 1

$$M_{d,max} = 1940,9 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{240 \cdot 1665^2}{6} = 110889000 \text{ mm}^3$$

$$a = 2500 \text{ mm}$$

Tasainen kuorma puristetulla reunalla

$$c = 0,70$$

$$L_{ef,y} = a + 2 \cdot h = 2500 + 2 \cdot 1665 = 5830 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,70 \cdot 240^2}{1665 \cdot 5830} \cdot 10800 = 44,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,00}{44,86}} = 0,82$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,82 = 0,95$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{d,max}}{W_y} = \frac{1940,9 \cdot 10^6}{110889000} = 17,50 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,y,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 30,00 = 19,20 \text{ N/mm}^2$$

$$EHTO: \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \Rightarrow 17,50 \text{ N/mm}^2 \leq 0,95 \cdot 19,20 \text{ N/mm}^2 \quad (96 \% \text{ OK kestä})$$

6.0 Leikkauskestävyys palkin päässä ($V_{d,mit}$)

Kuormitustapaus 1

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

$$V_{d,mit} = 323,5 \text{ kN}$$

$$A = k_{cr} \cdot b \cdot H_1 = 1,0 \cdot 240 \cdot 1665 = 399600 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,max}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{323,5 \cdot 10^3}{399600} = 1,21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 3,50 = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

$$EHTO: \tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,21 \text{ N/mm}^2 \leq 2,24 \text{ N/mm}^2 \quad (54 \% \text{ OK kestä})$$

7.0 Taipuma palkin keskellä

Kuormitustapaus 1

$$\Sigma g_k = 10,8 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma q_k = 17,6 \text{ kN/m}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{240 \cdot 1665^3}{12} = 9,23 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$w_c = 50 \text{ mm (esikorotus L/400)}$$

Momentin aiheuttama taipuma

$$W_{inst,M,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,8 \cdot 20000^4}{13000 \cdot 9,23 \cdot 10^{10}} = 18,8 \text{ mm}$$

$$W_{inst,M,Q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{17,6 \cdot 20000^4}{13000 \cdot 9,23 \cdot 10^{10}} = 30,6 \text{ mm}$$

Leikkausvoiman aiheuttama taipuma

$$W_{inst,V,G} = \frac{3}{20} \cdot \frac{g_k \cdot L^2}{G_{mean} \cdot A} = \frac{3}{20} \cdot \frac{10,8 \cdot 20000^2}{650 \cdot 399600} = 2,5 \text{ mm}$$

$$W_{inst,V,Q} = \frac{3}{20} \cdot \frac{q_k \cdot L^2}{G_{mean} \cdot A} = \frac{3}{20} \cdot \frac{17,6 \cdot 20000^2}{650 \cdot 399600} = 4,1 \text{ mm}$$

Taipuma

$$W_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot (W_{inst,M,G} + W_{inst,V,G}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot (W_{inst,M,Q} + W_{inst,V,Q})$$

$$W_{fin} = (1 + 0,6) \cdot (18,8 + 2,5) + (1 + 0,2 \cdot 0,6) \cdot (30,6 + 4,1) = 72,9 \text{ mm} \leq \frac{20000}{200} = 100 \text{ mm} \quad (73 \% \text{ OK})$$

$$W_{net,fin} = W_{fin} - w_c = 72,9 - 50 = 22,9 \text{ mm} \leq \frac{20000}{300} = 66,7 \text{ mm} \quad (34 \% \text{ OK})$$

8.0 Y-suunnan stabiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (1. muoto)

Kuormitustapaus 1

$$M_{d,max} = 1940,9 \text{ kNm}$$

$$L = 20000 \text{ mm}$$

Tasainen kuorma puristetulla reunalla (sivuttaistuettu vain palkin päistä)

$$c = 0,70$$

$$L_{ef,y} = L \cdot 0,9 + 2 \cdot h = 20000 \cdot 0,9 + 2 \cdot 1665 = 21330 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,70 \cdot 240^2}{1665 \cdot 21330} \cdot 10800 = 12,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,00}{12,26}} = 1,56$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,56^2} = 0,41$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{d,max}}{h} = (1 - 0,41) \cdot \frac{1940,9}{1,665} = 688 \text{ kN}$$

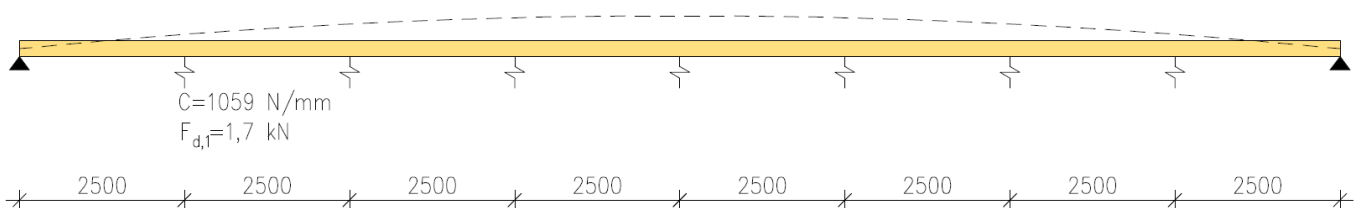
$$m = 8$$

$$a = 2500 \text{ mm}$$

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{8}\right) \right) \cdot \frac{688000}{2500} = 1059 \text{ N/mm}$$

$$F_{d,1} = \frac{N_d}{50 \cdot L} \cdot a = \frac{688}{50 \cdot 20} \cdot 2,5 = 1,7 \text{ kN}$$

Kiepahdustukeen syntyvä voima on 1,7 kN ja kiepahdustuen jousijäykkyysvaatimus on 1059 N/mm.



9.0 Y-suunnan stabiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (2. muoto)

Kuormitustapaus 1

$$M_{d,max} = 1940,9 \text{ kNm}$$

$$L = 20000 \text{ mm}$$

Tasainen kuorma puristetulla reunalla (sivuttaistuettu vain palkin päistä)

$$c = 0,70$$

$$L_{ef,y} = L \cdot 0,9 + 2 \cdot h = 20000 \cdot 0,9 + 2 \cdot 1665 = 21330 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,70 \cdot 240^2}{1665 \cdot 21330} \cdot 10800 = 12,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,00}{12,26}} = 1,56$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,56^2} = 0,41$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{d,max}}{h} = (1 - 0,41) \cdot \frac{1940,9}{1,665} = 688 \text{ kN}$$

$$m = 8$$

$$a = 2500 \text{ mm}$$

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right)\right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{8}\right)\right) \cdot \frac{688000}{2500} = 1059 \text{ N/mm}$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{1665 \cdot 240^3}{12} = 1,92 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\ell_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{1059}{2500 \cdot 10800 \cdot 1,92 \cdot 10^9}}} = 8310 \text{ mm} \\ 2 \cdot a = 2 \cdot 2500 = 5000 \text{ mm} \end{array} \right.$$

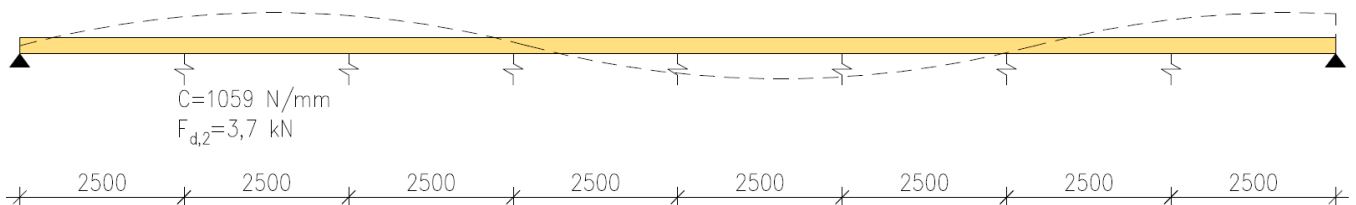
$$\ell_s \leq \frac{L}{2} \Rightarrow 8310 \text{ mm} \leq \frac{20000}{2} = 10000 \text{ mm} \Rightarrow \text{Kiepahduksen 2. muoto (s - muoto) on mahdollinen}$$

$$F_d = \frac{N_d}{80} = \frac{688}{80} = 8,6 \text{ kN}$$

$$k_{s,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{2500}{8310 - 2500} = 0,43$$

$$F_{d,2} = k_{s,red} \cdot F_d = 0,43 \cdot 8,6 = 3,7 \text{ kN}$$

Kiepahdustukeen syntyvä voima on 3,7 kN ja kiepahdustuen jousijäykkysvaatimus on 1059 N/mm.



HUOMIO!

Tässä esimerkkilaskelmassa palkki voi kiepahtaa sekä 1. muodon (yhteen suuntaan) että 2. muodon mukaan (s-muoto). Palkin poikkileikkauksen koko ja y-suunnan tuentajako kannattaa valita siten, että palkin kiepahdus voi tapahtua vain 1. muodon mukaan. Tällöin y-suunnan stabiloiviin tukiin tulee huomattavasti pienempi voima kuin 2. muodon mukaisessa tapauksessa.