

Tenttivastaus

Kaarevapalkki

25.03.2019

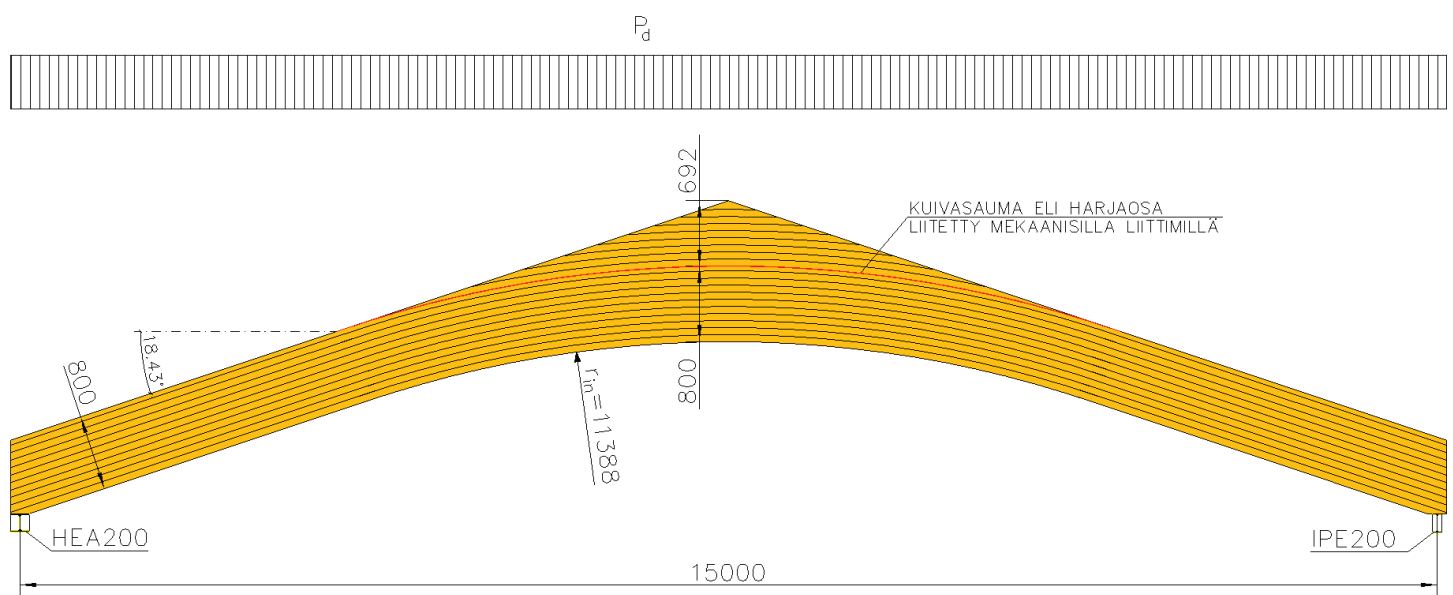
Sisällysluettelo

TEHTÄVÄ 1: KAAREVAN PALKIN MITOITUS (6p)	- 3 -
1 LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2 MATERIAALI (1p)	- 4 -
3 MITOITUS	- 5 -
3.1 TAIVUTUSKESTÄVYYS PALKIN KESKELLÄ (1p)	- 5 -
3.2 POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS PALKIN KESKELLÄ (1p).....	- 6 -
3.3 LEIKKAUSKESTÄVYYS OIKEALLA TUELLA (1p).....	- 7 -
3.4 TUKIPAINKESTÄVYYS OIKEALLA TUELLA (1p).....	- 7 -
3.5 OIKEAN TUEN LOVIVAIKUTUS (1p)	- 8 -

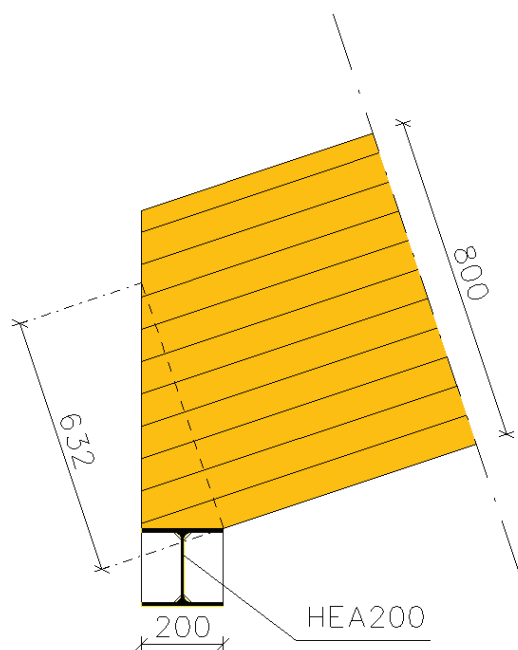
TEHTÄVÄ 1: KAAREVAN PALKIN MITOITUS (6p)

1 LÄHTÖTIEDOT

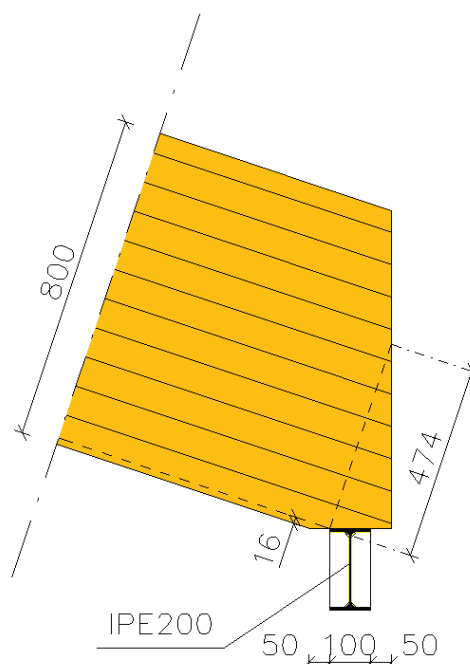
Alla olevassa kuvassa on palkkirakenne, jonka jänneväli on 15 000 mm (tuen keskeltä keskelle). Käyttöluokka 1 ja aika-luokka: Keskipitkä. Palkin materiaali GL30h ja palkin koko (BxH) 190x800 (tasakorkea). Palkin harjaosa on lisätty liimauksen jälkeen ja kiinnitetty mekaanisilla kiinnikkeillä (kuivasauma). Palkin lamellin paksuus on 20 mm. Palkin taivutussäde, $r_{in} = 11\,388$ mm ja katon kaltevuus on $18,43^\circ$. Kaarevan osan tilavuus $V_{kaari} = 1,5683$ m³ ja koko palkin tilavuus $V_b = 2,389$ m³. Toisesta päästä palkki tukeutuu HEA 200 teräspalkkiin (tukipinnan pituus 200 mm) ja toisesta IPE 200 (tukipinnan pituus 100 mm). Tasainen kuorma murtorajatilassa $p_d = 7,0$ kN/m. Staattisessa mallissa oletetaan, että toinen tuista sallii vaakasiirtymän. Palkin pintaa ei ole käsitelty. Laskelmassa **ei saa pienentää** tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa. Mitoituksessa ei tarvitse huomioida kiepahdusta ja taipumaa.



VASEN TUKI



OIKEA TUKI



2 MATERIAALI (1p)

Liimapuupalkki GL30h 190x800 (lamelli paksuus $t = 20$ mm)

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

palkin korkeus yli 600 mm

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,0$

Lamellin paksuuden rajoitus:

Liimapuussa lamellien paksuus on enintään 45 mm (6...45 mm). Käyttöluokan 3 liimapuussa lamellipaksuus saa olla enintään 35 mm. Kaarevassa liimapuussa lamellipaksuutta t rajoitetaan lisäksi kaarevuussäteestä r ja lamellin sormijatkoksille ilmoitetusta taivutuslujuudesta $f_{m,j,dc,k}$ riippuen seuraavasti:

$$t \leq \frac{r}{250} \times \left(1 + \frac{f_{m,j,dc,k}}{150} \right)$$

Sormijatkoksen taivutuslujuus määritetään valmistuslinjakohtaisessa sormijatkoksen alkutestauksessa. Minimivaatimuksena on 1,4 x lamellin vetolujuus. Lamellin vetolujuutta voi siis käyttää varmalla puolella olevana ”yleisarvona”. Liimapuulamellien vetolujuudet ja eri liimapuun lujuusluokissa käytettävät lamellit on esitetty EN 14080 standardissa.

GL30c: Ulkolamellit T22 ja sisälamellit T15. Valitaan T15 (heikoimman vaihtoehdon mukaan) ⇒ $f_{m,j,k} = 27$ N/mm² ja $f_{t,0,k} = 15$ N/mm². Lasketaan $f_{m,j,dc,k} = 1,4 \times f_{t,0,k} \Rightarrow f_{m,j,dc,k} = 1,4 \times 15$ N/mm² = 21,0 N/mm². $r_{in} = 11\,388$ mm

$$t \leq \frac{r}{250} \times \left(1 + \frac{f_{m,j,dc,k}}{150} \right) \Rightarrow 20\,mm \leq \frac{11388}{250} \times \left(1 + \frac{21}{150} \right) = 51,9\,mm \Rightarrow \text{OK!}$$

Jos lamellin paksuus alle 40 mm, liimapuun taivutuslujuutta saadaan korottaa kertoimella k :

$$k \leq \min \left\{ \left(\frac{40}{t} \right)^{0,1} \right\} \Rightarrow k \leq \min \left\{ \left(\frac{40}{20} \right)^{0,1} \right\} \Rightarrow k = 1,050$$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 1

⇒ aika- ja käyttöluokka kerroin, $k_{mod} = 0,8$

⇒ virumaluku, $k_{def} = 0,6$

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0$ N/mm ²	$f_{m,d} = k \times k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 20,2$ N/mm ²
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 3,5$ N/mm ²	$f_{v,d} = k_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,24$ N/mm ²
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 2,5$ N/mm ²	$f_{c,90,d} = k_{mod} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,60$ N/mm ²
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 30,0$ N/mm ²	$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 19,2$ N/mm ²
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,5$ N/mm ²	$f_{t,90,d} = k_{mod} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,32$ N/mm ²

Kimmomoduuli:
Liukumoduuli:

$E_{0,mean} = 13\,600\text{ N/mm}^2$
 $G_{0,mean} = 650\text{ N/mm}^2$

$E_{0,05} = 11\,300\text{ N/mm}^2$
 $G_{0,05} = 540\text{ N/mm}^2$

3 MITOITUS

3.1 TAIVUTUSKESTÄVYYS PALKIN KESKELLÄ (1p)

Lasketaan taivutusmomentti palkin keskellä,

$$M_{d,max} = \frac{p_d \times L^2}{8} \Rightarrow M_{d,max} = \frac{7,0\text{ kN/m} \times (15\text{ m})^2}{8} = 196,9\text{ kNm}$$

Lasketaan k_l -kerroin:

$$k_l = \begin{cases} 1 + 1,4 \times \tan \alpha + 5,4 \times \tan^2 \alpha ; \text{harjapalkilla} \\ 1 + 0,35 \times \left(\frac{h_2}{r}\right) + 0,6 \times \left(\frac{h_2}{r}\right)^2 ; \text{kaarevalla palkilla} \\ k_1 + k_2 \times \left(\frac{h_2}{r}\right) + k_3 \times \left(\frac{h_2}{r}\right)^2 + k_4 \times \left(\frac{h_2}{r}\right)^3 ; \text{kaarevalla harjapalkilla} \end{cases}$$

$r = r_{in} + 0,5 \times h$; r_{in} = kaarevuussäde (sisä)

$k_1 = 1 + 1,4 \times \tan \alpha + 5,4 \times \tan^2 \alpha$

$k_2 = 0,35 - 8 \times \tan \alpha$

$k_3 = 0,6 + 8,3 \times \tan \alpha - 7,8 \times \tan^2 \alpha$

$k_4 = 6 \times \tan^2 \alpha$

Tässä mitoituspaikassa kaarevan palkin

$$k_l = 1 + 0,35 \times \left(\frac{h}{r}\right) + 0,6 \times \left(\frac{h}{r}\right)^2 \Rightarrow k_l = 1 + 0,35 \times \left(\frac{800}{11788}\right) + 0,6 \times \left(\frac{800}{11788}\right)^2 = 1,027$$

Lasketaan maksimi taivutusjännitys (keskellä):

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,max}}{\frac{1}{6} \times b \times h^2} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{196,9 \times 10^6\text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 190\text{ mm} \times (800\text{ mm})^2} = 9,7\text{ N/mm}^2$$

Lasketaan k_r -kerroin (RIL 205-1-2017 s.88): $\frac{r_{in}}{t} = 569$

Harjapalkilla $k_r = 1,0$ ja muilla kaarevilla rakenteilla

$$k_r = \begin{cases} 1, & \text{kun } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \times \frac{r_{in}}{t}, & \text{kun } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} \Rightarrow k_r = 1$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \times k_l \leq k_r \times f_{m,d} \Rightarrow 10,0\text{ N/mm}^2 \leq 20,2\text{ N/mm}^2\text{ (49 \%)}$

3.2 POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS PALKIN KESKELLÄ (1p)

Lasketaan taivutusmomentti palkin keskellä,

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,\max}}{\frac{1}{6} \times b \times h^2} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{196,9 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 190 \text{ mm} \times (800 \text{ mm})^2} = 9,7 \text{ N/mm}^2$$

Kaarevan alueen tilavuus: $V_{kaari} = 1,2415 \text{ m}^3$

Koko palkin tilavuus: $V_b = 2,389 \text{ m}^3$

Lasketaan mitoittava tilavuus:

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{kaari} = 1,2415 \\ \frac{2}{3} \times V_b = 1,5927 \end{array} \right. \Rightarrow V = 1,2415 \text{ m}^3$$

Lasketaan k_p -kerroin:

$$k_p = \begin{cases} 0,2 \times \tan \alpha & ; \text{harjapalkki} \\ 0,25 \times \left(\frac{h_2}{r} \right) & ; \text{kaarevapalkki} \\ k_5 + k_6 \left(\frac{h_2}{r} \right) + k_7 \times \left(\frac{h_2}{r} \right)^2 & ; \text{kaareva harjapalkki} \end{cases}$$

$$k_5 = 0,2 \times \tan \alpha$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \times \tan \alpha + 2,6 \times \tan^2 \alpha$$

$$k_7 = 2,1 \times \tan \alpha - 4 \times \tan^2 \alpha$$

$$\text{eli kaarevalla palkilla } k_p = 0,25 \times \left(\frac{h}{r} \right) \Rightarrow k_p = 0,25 \times \left(\frac{800}{11788} \right) \Rightarrow k_p = 0,017$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \times \frac{M_{d,\max}}{\frac{1}{6} \times b \times h^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{t,90,d} = 0,017 \times \frac{196,9 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 190 \text{ mm} \times (800 \text{ mm})^2} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan tilavuuskerroin (liimapuu ja Kerto-S),

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} ; V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \text{ (vertailutilavuus)}$$

$$\Rightarrow k_{vol} = \left(\frac{0,01 \text{ m}^3}{1,2415 \text{ m}^3} \right)^{0,2} = 0,3812$$

Lasketaan jännitys jakauma kerroin,

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & ; \text{harjapalkit ja kaarevat palkit} \\ 1,7 & ; \text{kaarevat harjapalkit l. bumerangipalkit} \end{cases}$$

eli kaarevalla palkilla $k_{dis} = 1,4$

Mitoitusehto: $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \times k_{vol} \times f_{t,90,d} \Rightarrow 0,16 \text{ N/mm}^2 \leq 1,4 \times 0,3812 \times 0,32 \text{ N/mm}^2 = 0,17 \text{ N/mm}^2 (96 \%)$

3.3 LEIKKAUSKESTÄVYYS OIKEALLA TUELLA (1p)

Palkin tukireaktio on $R_d = \frac{p_d \times L}{2} \Rightarrow R_d = \frac{7,0 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{2} = 52,5 \text{ kN}$

, josta lasketaan palkin leikkausvoima $V_d = R_d \times \cos(18,43^\circ) \Rightarrow V_d = 49,8 \text{ kN}$

Tehollinen korkeus leikkauksessa on kohtisuora korkeus syitä vastaan tuen (sisä)reunasta eli $h_{ef} = 474 \text{ mm}$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h_{ef}} \leq f_{v,d}$$

$$\Rightarrow \tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{49,8 \times 10^3 \text{ N}}{190 \text{ mm} \times 474 \text{ mm}} = 0,83 \text{ N/mm}^2 \leq 2,24 \text{ N/mm}^2 (37\%)$$

3.4 TUKIPAINKESTÄVYYS OIKEALLA TUELLA (1p)

Lasketaan palkin tukireaktio: $R_d = \frac{p_d \times L}{2} \Rightarrow R_d = \frac{7,0 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{2} = 52,5 \text{ kN}$

Lasketaan kerroin $k_{c,90} = \begin{cases} 1,25 (1,5) & \text{havupuinen sahatavara ja CLT:n lapepinta} \\ 1,5 (1,75) & \text{havupuinen liimapuu} \\ 1,4 (1,6) & \text{Kerto-LVL lapepinta} \end{cases}$

, muissa tapauksissa käytetään arvoa 1,0

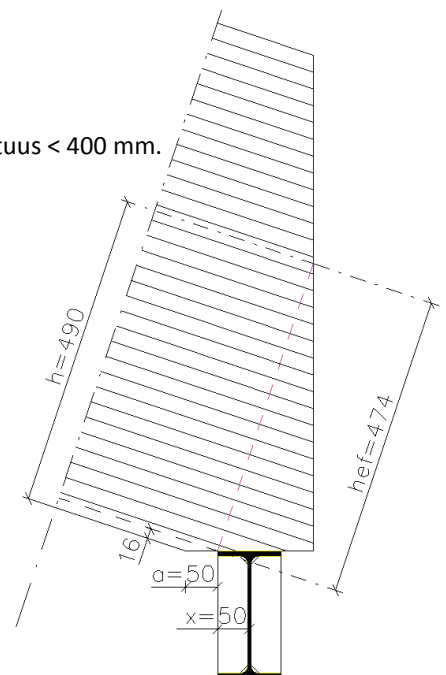
Tässä tapauksessa käytetään arvoa $k_{c,90} = 1,75$ (liimapuu), koska tukipituus $< 400 \text{ mm}$.

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \times f_{c,90,d}} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow \frac{52,5 \times 10^3 \text{ N}}{190 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}} \leq \frac{19,2 \text{ N/mm}^2}{\frac{19,2 \text{ N/mm}^2}{1,75 \times 1,60 \text{ N/mm}^2} \times \sin^2 18,43^\circ + \cos^2 18,43^\circ}$$

$$\Rightarrow 2,76 \text{ N/mm}^2 \leq 12,11 \text{ N/mm}^2 (23 \%)$$



3.5 OIKEAN TUEN LOVIVAIKUTUS (1p)

Palkin tukireaktio on $R_d = \frac{p_d \times L}{2} \Rightarrow R_d = \frac{7,0 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{2} = 52,5 \text{ kN}$

, josta lasketaan palkin leikkausvoima $V_d = R_d \times \cos(18,43^\circ) \Rightarrow V_d = 49,8 \text{ kN}$

$$\text{kerroin, } k_n = \begin{cases} 5,0 \text{ sahatavara} \\ 6,5 \text{ liimapuu} \\ 4,5 \text{ LVL yleensä} \\ 6,0 \text{ Kerto-S -LVL} \\ 16,0 \text{ Kerto-Q -LVL} \end{cases} \Rightarrow k_n = 6,5$$

$$x = 50 \text{ mm, } a = 50 \text{ mm, } \alpha = \frac{h_{ef}}{h} \Rightarrow \alpha = \frac{474 \text{ mm}}{490 \text{ mm}} = 0,967, i = \frac{a}{h - h_{ef}} \Rightarrow i = \frac{50 \text{ mm}}{490 \text{ mm} - 474 \text{ mm}} = 3,125$$

$$k_v = \frac{k_n \times \left(1 + \frac{1,1 \times i^{1,5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h} \times \left(\sqrt{\alpha \times (1 - \alpha)} + 0,8 \times \frac{x}{h} \times \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2}\right)}$$

$$\Rightarrow k_v = \frac{6,5 \times \left(1 + \frac{1,1 \times 3,125^{1,5}}{\sqrt{490}}\right)}{\sqrt{490} \times \left(\sqrt{0,967 \times (1 - 0,967)} + 0,8 \times \frac{50}{490} \times \sqrt{\frac{1}{0,967} - 0,967^2}\right)}$$

$$\Rightarrow k_v = \frac{8,28436}{22,13594 \times (0,1778 + 0,08163 \times 0,31304)} = 1,84104$$

Koska k_v :n arvoksi tuli yli 1,00 niin valitaan arvoksi $k_v=1,00$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h_{ef}} \leq k_v \times f_{v,d}$$

$$\Rightarrow \tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{52,5 \times 10^3 \text{ N}}{190 \text{ mm} \times 474 \text{ mm}} = 0,83 \text{ N/mm}^2 \leq 1,0 \times 2,24 \text{ N/mm}^2 (37\%)$$

Tenttitehtävä 2

2.4.2019

Vastaus

1.0 Palkin yläreunan puristusvoima

ℓ_{ef} = kiepahdustukemattoman palkin mitta

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,9 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,9 \cdot 22500 = 20250 \text{ mm}$$

ℓ_{ef} -mittaa suurennetaan 2h verran, koska kuorma puristetulla reunalla

$$\ell_{ef} = 20250 + 2 \cdot 1890 = 24030 \text{ mm}$$

$$c = 0,70$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,70 \cdot 215^2}{1890 \cdot 24030} \cdot 10800 = 7,69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,0}{7,69}} = 1,98$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,98^2} = 0,26$$

$$q_d = 30,6 \text{ kN/m}$$

$$M_d = \frac{q_d \cdot L^2}{8} = \frac{30,6 \cdot 22,5^2}{8} = 1936,4 \text{ kNm}$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h} = (1 - 0,26) \cdot \frac{1936,4}{1,890} = 758 \text{ kN} \approx 760 \text{ kN} \quad \text{Annetaan lähtötiedoissa}$$

2.0 Tuen jousijäykkysvaatimus

$m = 9$ poikittaistuetujen kenttien lukumäärä

$a = 2,5$ poikittaistukien k-jako

$$C_{vaad} \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{9}\right) \right) \cdot \frac{760}{2,5} = 1179 \text{ N/mm}$$

3.0 Kriittinen kiepahdusaallonpituus

$$N_d = 760 \text{ kN}$$

$$C_{vaad} = 1179 \text{ N/mm}$$

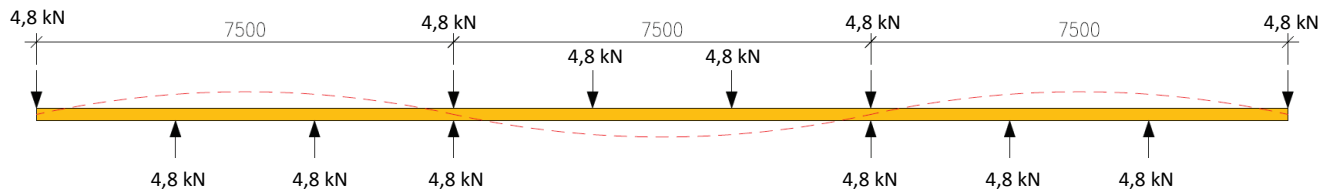
$$E_{0,05} = 10800 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Annetaan lähtötiedoissa}$$

$$I_z = \frac{1890 \cdot 215^3}{12} = 15,7 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\ell_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} \geq 2 \cdot a \Rightarrow \ell_s = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{1179}{2500 \cdot 10800 \cdot 15,7 \cdot 10^8}}} = 7693 \approx 7500 \text{ mm (määrittävä)}} \\ 2 \cdot a = 2 \cdot 2500 = 5000 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$\ell_s \leq \frac{L}{2} \Rightarrow \text{S-kiepahdus tapahtuu}$$

4.0 Kiepahdustukien voimat



$$F_d = \frac{N_d}{80} = \frac{760}{80} = 9,5 \text{ kN}$$

$$k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{2500}{7500 - 2500} = 0,5$$

$$F_{d,tuki,1} = F_{d,tuki,10} = \frac{F_d}{2} = \frac{9,5}{2} = 4,8 \text{ kN}$$

$$F_{d,tuki,2} = F_{d,tuki,3} = F_{d,tuki,4} = F_{d,tuki,5} = F_{d,tuki,6} = F_{d,tuki,7} = F_{d,tuki,8} = F_{d,tuki,9} = k_{S,red} \cdot F_d = 0,5 \cdot 9,5 = 4,8 \text{ kN}$$

5.0 Naulan kestävyys (keskipitkä aikaluokka)

Naulan paksuus $2,5 \text{ mm} \leq 0,5 \cdot t \Rightarrow \text{OK}$

Naulan tunkeuma palkkiin $42 \text{ mm} \geq 12 \cdot d \Rightarrow \text{OK}$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = \sqrt{\frac{480}{350}} = 1,17$$

$$k_\ell = \left(0,5 + \frac{t}{12 \cdot d}\right) \cdot k_\rho = \left(0,5 + \frac{18}{12 \cdot 2,5}\right) \cdot 1,17 = 1,287 \leq 1,2 \cdot k_\rho \Rightarrow \text{OK}$$

$$R_k = 120 \cdot d^{1,7} = 120 \cdot 2,5^{1,7} = 569,7 \text{ N}$$

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_\ell \cdot R_k \cdot \min \left\{ \frac{1}{t_2}, \frac{0,8}{1,3} \right\} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 1,287 \cdot 569,7 \cdot 1 = 451 \text{ N}$$

Annetaan lähtötiedoissa

6.0 Naulan lopputilan siirtymäkerroin

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,palkki} \cdot \rho_{m,levy}} = \sqrt{510 \cdot 460} = 484,4 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30} = \frac{484,4^{1,5} \cdot 2,5^{0,8}}{30} = 740 \text{ N/mm}$$

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,ranka} \cdot k_{def,levy}} = 2 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 0,8} = 1,39$$

$$K_{u,fin} = \frac{\frac{2}{3} \cdot K_{ser}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 740}{(1 + 0,2 \cdot 1,39)} = 386 \text{ N/mm}$$

Annetaan lähtötiedoissa

7.0 Levyjen leikkausjäykkyys lopputilassa

Havuvanerilevy 2400 x 1200 x 18

$$G_{\text{mean}} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 \cdot K_{\text{def}})} = \frac{350}{(1 + 0,2 \cdot 0,8)} = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Annetaan lähtötiedoissa}$$

Liitinjako $s = 150 \text{ mm}$

$$K_{u,\text{fin}} = 386 \text{ N/mm}$$

Annetaan lähtötiedoissa

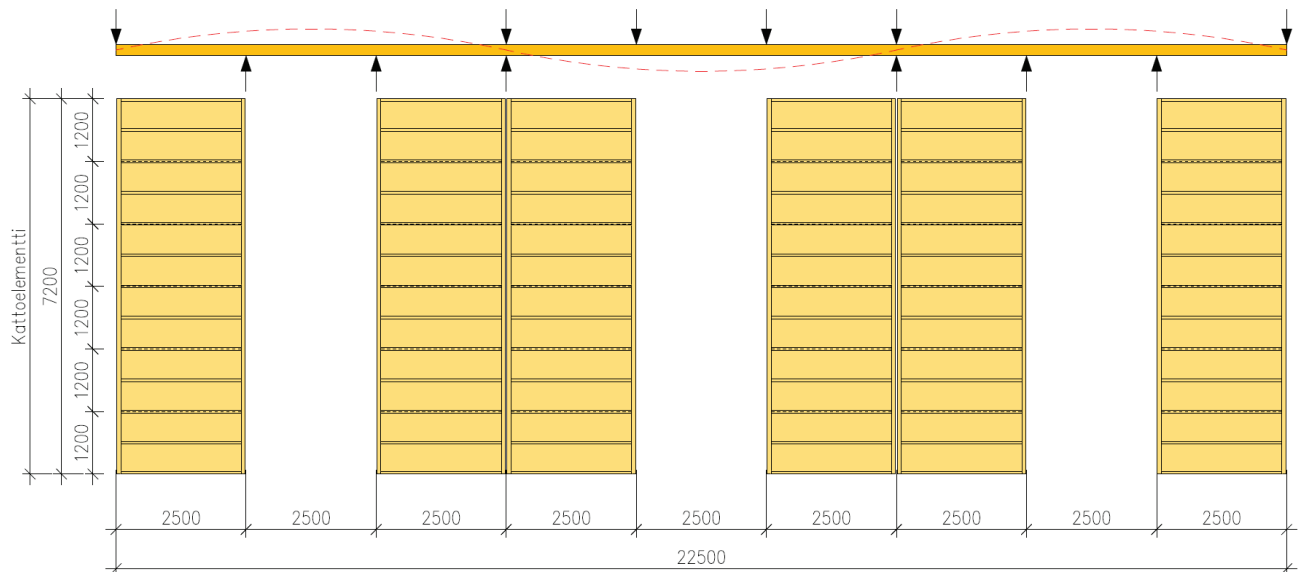
$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{2400}{1200}\right)^2 + \left(\frac{2400}{1200}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{2400}{1200}\right)} = 1,1$$

$$C_{v,\text{fin}} = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{u,\text{fin}} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{\text{mean,fin}} \cdot t}}$$

$$C_{v,\text{fin}} = \frac{1}{1,1 \cdot \frac{150 \cdot 2400^2}{386 \cdot 1200^3} + \frac{2400}{1200 \cdot 302 \cdot 18}} = 558 \text{ N/mm}$$

8.0 Levytyksen leikkaussiirtymä



Levytyksen yhteinen jäykkyys yhdessä kattoelementissä

$$\Sigma C_{v,\text{fin}} = 6 \cdot 558 = 3348 \text{ N/mm}$$

Yksi kattoelementti ottaa voiman $F_{d,\text{tuki}} = 4,8 \text{ kN}$

$$u_{\text{fin,levyty}} = \frac{F_{d,\text{tuki},1}}{\Sigma C_{v,\text{fin}}} = \frac{4800}{3348} = 1,4 \text{ mm}$$

9.0 Tuen kokonaissiirtymä

$$u_{fin,levytys} = 1,4 \text{ mm}$$

$$u_{fin,liitos} = 1,1 \text{ mm (palkilta elementille)}$$

$$u_{fin,liitos} = 1,1 \text{ mm (elementiltä takaisin palkille)}$$

$$\sum u_{fin,tuki} = 3,6 \text{ mm}$$

Annetaan lähtötiedoissa

10.0 Tuennan jäykkyystarkastus

$$C_{v,fin,tuki} = \frac{F_{d,tuki}}{\sum u_{fin,tuki}} = \frac{4800}{3,6} = 1333 \text{ N/mm} > 1179 \text{ N/mm} \quad \text{OK}$$

11.0 Levyjen leikkauskestävyys

Kattoelementissä on kuusi samanlaista levyä, joten yhdelle levyille tulee voima $F_d = \frac{4,8}{6} = 0,8 \text{ kN}$

Havuvanerilevy 2400 x 1200 x 18

Liitinjako s = 150 mm

$R_d = 451 \text{ N}$

$$\gamma = \frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\gamma = \frac{4}{\left(2 + \frac{2400}{1200}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{1200}{2400} + 3\right)^2} = 0,99$$

$$F_{v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{451 \cdot 1200}{0,99 \cdot 150} = 3,6 \text{ kN} > 0,8 \text{ (22 \%)} \quad \text{OK}$$

Tenttitehtävä 3

2.4.3019

Vastaus

1) Arkkitehti aloittaa suunnittelemaan 4-kerroksista puukerrostaloa. Kerrostalo on rankarakenteinen ja se jäykistetään levyjäykistyksellä. Arkkitehti haluaa sinulta ohjeita rakennuksen jäykistämiseen.

Kuinka ohjeistat arkkitehtia?

- Jäykistäviä seiniä tulee sijoittaa tasaisesti koko rakennuksen alueelle sekä rakennuksen pituus- että poikittaissuunnassa
- Jäykistävien seinien välinen etäisyys voi olla enintään välipohjan jännevälin pituinen
- Jäykistävissä seinissä tulee olla riittävän pitkä levytetty osuus (ei suuria aukkoja)
- Keskikäytävätalossa jäykistävien seinien tulee sijaita samalla moduulilinjalla käytävän molemmin puolin
- Jäykistävien seinien tulee sijaita samalla moduulilinjalla eri kerroksissa
- Välipohjien kantosuunnat tulee valita siten, että välipohjat välittävät mahdollisimman paljon omapainoa jäykistäville seinille (ankkurointivoiman vähentäminen)
- Mikäli tulee suuria aukkoja, tulee aukon vieressä olla (toisella tai molemmilla puolilla) riittävästi levytettyä osuutta
- Jäykistävien seinien tulee olla suunnilleen samanpituisia, jotta vaakasiirtymissä ei tule suuria eroja
- Rakennetyypit ja liittymädetaljit sekä voimaliitostyyppit tulee suunnitella luonnostasolle yhdessä arkkitehdin kanssa jo projektin alkuvaiheessa
- Välipohjat eivät voi siirtää vaakakuormia ulokkeena, joten välipohjan vastakkaisissa reunoissa tulee aina olla jäykistävä seinä (välipohja toimii vaakasuuntaisena 1-aukkoisena palkkina)
- Puukerrostaloon ei voi tehdä isoja ulokkeita (kuten erkkeri) kovinkaan helposti

2) Kuinka levyjäykisteisen puukerrostalon jäykistäminen eroaa betonikerrostalon jäykistämisestä?

Puukerrostalo	Betonikerrostalo
Välipohjat joustavia (kiertokeskiömenetelmä ei toimi), jolloin voimien jakautuminen jäykistäville seinille täysin erilainen betonitaloon verrattuna	Välipohjat jäykkiä, jolloin kiertokeskiömenetelmällä saadaan jäykistävien seinien kuormat helposti
Välipohjat katkaistava HVS:n kohdalla, jolloin jäykistys on huoneistokohtaista	Välipohjat jatkuvia koko rakennuksen alueella, jolloin talo voidaan jäykistää yhtenä kokonaisuutena
Hissikuilun tai porrashuoneen käyttäminen jäykisteenä ei onnistu, jos talo ei ole suunniteltu näiden ympärille tarkoituksellisesti (hybridirunko)	Talo voidaan helposti jäykistää hissikuiluilla tai porrashuoneilla
Jäykistävien seinien tulee sijaita samoilla moduulilinjoilla tasaisesti koko rakennuksen alueella	Jäykistävien seinien sijoittelu vapaampaa puutaloon verrattuna
Jäykistävien rakenteiden ja voimaliitosten kapasiteetti hyvin rajallinen	Jäykistävien rakenteiden ja voimaliitosten kapasiteetti erittäin suuri
Ankkuroinnista tulee yleensä haaste	Omapaino kumoaa usein ankkurointitarpeen
Välipohjat eivät jäykistä ulokkeena	Välipohja siirtää vaakakuormia ulokkeena, jolloin esim. talon toisesta päästä voi jättää jäykistävät seinät pois (esim. lasiseinä)
Voimaliitokset ovat joustavia	Voimaliitokset ovat jäykkiä

3) Mainitse kolme tekijää, joihin tulee kiinnittää huomiota puukerrostalon suunnittelun alkuvaiheessa jatkuvan sortuman estämisen näkökulmasta.

1. Käytettävä menetelmä (sidonta vai vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti).
2. Voimaliitosten tulee olla sellaisia, että ne toimivat myös jatkuvan sortuman estämisen näkökulmasta, ettei tule erillisiä liitososia jatkuvan sortuman estämiseen
3. Välipohjien omapainon tulee olla enintään 2,0 kN/m², koska muuten sidontavoimat kasvavat liian suuriksi puurakenteiden liitoksille.