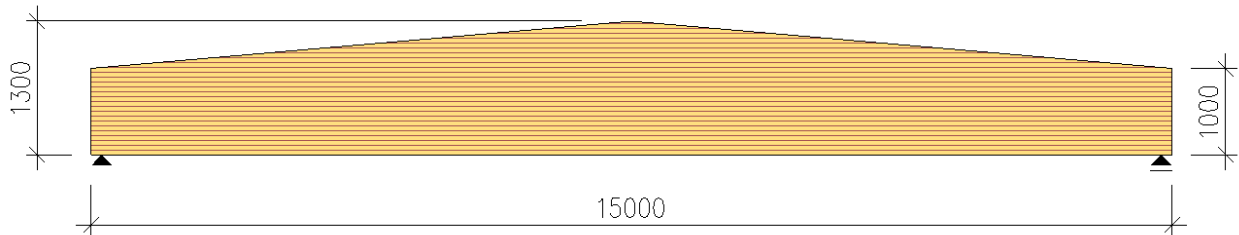


Moduuli 2

Kotitehtävä 5_KYSYMYS

01.12.2018



Mitoita seuraava symmetrinen, 1-aukkoinen, harjapalkki GL30c-165x1000-1300-1000, kun

- jänneväli on 15 000 mm
- kehäjako k/k 6000 mm
- kiepahdustukiväli 1500 mm
- orret 1-aukkoisia
- tukien pituus 650 mm
- aikaluokka: keskipitkä
- käyttöluokka: 2
- seuraamusluokka: CC2
- lumikuorma maassa, $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$
- vesikaton omapaino, $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- mitoitustapaus: omapaino 100 % + lumi 100 %

Y-suunnan stabiloivan tuen voimaa ja jousijäykkyyttä ei tarvitse laskea.

Moduuli 2

Kotitehtävä 5_VASTAUS (7p)

01.12.2018

LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Esimerkiksi Espoo, teollisuusalue
Rakenne:	Symmetrinen harjapalkki, kaltevuus 1:20, 1-aukkoiset sekundäärit (orret, elementissä)
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1, SFS EN 1995-1-2, LP-käsikirja 2015 Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3

KUORMAT

Kuormitustapaus 1: Omapaino 100% + symmetrinen lumi 100%

LUMIKUORMA:

Lumikuorma maassa, $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Katon muotokerroin $\mu = 0,8 \Rightarrow$ lumikuorma katolla $q_{s,k} = \mu \times s_k \Rightarrow 0,8 \times 2,75 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Koska palkkijako 6000 mm ja kattorakenne (orret) 1-aukkoisia

$\Rightarrow$ Lumikuorma palkille, $p_{q,s,k} = k/k \times q_{s,k} \Rightarrow 6 \text{ m} \times 2,2 \text{ kN/m}^2 = 13,2 \text{ kN/m}$

OMAPAINO:

Vesikaton omapaino, $g_{k,1} = 0,5 \text{ kN/m}$, koska palkkijako 6000 mm ja kattorakenne (orret) 1-aukkoisia

$\Rightarrow p_{g,k,1} = k/k \times g_{k,1} \Rightarrow 6 \text{ m} \times 0,5 \text{ kN/m} = 3,0 \text{ kN/m}$

Harjapalkin omapainoa laskettaessa, oletetaan se tasakorkeaksi 1,3 m ja leveys 0,165 m (varmalla puolella)

$p_{g,k,2} = 1,3 \text{ m} \times 0,165 \text{ m} \times 5 \text{ kN/m}^3 = 1,1 \text{ kN/m}$

Lopullinen omanpainon kuorma palkilla

$\Rightarrow p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} \Rightarrow 3,0 \text{ kN/m} + 1,1 \text{ kN/m} = 4,1 \text{ kN/m}$

Murtorajatilan kuormapalkille, $p_d = 1,15 \times p_{g,k} + 1,5 \times p_{q,k}$

$\Rightarrow p_d = 1,15 \times 4,1 \text{ kN/m} + 1,5 \times 13,2 \text{ kN/m} = 24,5 \text{ kN/m}$

MATERIAALI

Liimapuupalkki GL30c 165x1000-1300-1000

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

palkin korkeus yli 600 mm

$\Rightarrow$ taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,0$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

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

$\Rightarrow$ virumaluku, $k_{def} = 0,8$

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 19,2 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,24 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{mod} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,60 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 24,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 15,7 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{mod} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,32 \text{ N/mm}^2$
Kimmomoduuli:	$E_{0,mean} = 13\,000 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 10\,800 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

LOPULLINEN MITOITUS

Kun kyseessä symmetrinen tasainen kuorma, niin voidaan laskea mitoittava kohta seuraavalla kaavalla:

$$x_m = \frac{h_1}{h_2} \times \frac{L}{2} \Rightarrow x_m = \frac{1000 \text{ mm}}{1300 \text{ mm}} \times \frac{15\,000 \text{ mm}}{2} \Rightarrow x_m = 5\,769 \text{ mm}$$

$$\text{Yläpinnan kaltevuus: } \tan \alpha = \frac{1300 - 1000}{7\,500} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1300 - 1000}{7\,500} \right) = 2,29^\circ \text{ (kaltevuus 1:25)}$$

Lasketaan palkin korkeus mitoittavassa kohdassa:

$$\frac{1}{25} = \frac{h_m - h_1}{x_m} \Rightarrow h_m = h_1 + \frac{x_m}{25} \Rightarrow h_m = 1000 \text{ mm} + \frac{5\,769 \text{ mm}}{25} \Rightarrow h_m \approx 1231 \text{ mm}$$

TAIVUTUSKESTÄVYYS MITOITTAVASSA POIKKILEIKKAUKSESSA

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\begin{aligned} M_d(x_m) &= \frac{p_d \times L \times x_m}{2} \times \left(1 - \frac{x_m}{L} \right) \\ \Rightarrow M_d(x_m) &= \frac{24,5 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m} \times 5,769 \text{ m}}{2} \times \left(1 - \frac{5,769 \text{ m}}{15 \text{ m}} \right) \\ \Rightarrow M_d(x_m) &= 652,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d(x_m)}{\frac{1}{6} \times b \times h_m^2} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{652,4 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 165 \text{ mm} \times (1231 \text{ mm})^2} = 15,7 \text{ N/mm}^2$$

Kerroin $k_{m,\alpha}$ lasketaan seuraavasti:

kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \times f_{v,d}} \times \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \times \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

$$\Rightarrow k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{19,2 \text{ N/mm}^2}{1,5 \times 2,24 \text{ N/mm}^2} \times \tan(2,29^\circ) \right)^2 + \left(\frac{19,2 \text{ N/mm}^2}{1,60 \text{ N/mm}^2} \times \tan(2,29^\circ) \right)^2}} = 0,975$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{m,\alpha} \times f_{m,d} \Rightarrow 15,7 \text{ N/mm}^2 \leq 0,975 \times 19,2 \text{ N/mm}^2 = 18,7 \text{ N/mm}^2 (84 \%)$$

Pisteet 1p

TAIVUTUSKESTÄVYYS HARJALLA

Lasketaan taivutusmomentti palkin keskellä,

$$M_{d,\max} = \frac{p_d \times L^2}{8} \Rightarrow M_{d,\max} = \frac{24,5 \text{ kN/m} \times (15 \text{ m})^2}{8} = 689,1 \text{ kNm}$$

Lasketaan k_l -kerroin:

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

$r = r_{in} + 0,5 \times h_2$; 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 mitoitus tapauksessa harjapalkin $k_l = 1 + 1,4 \times \tan 2,29^\circ + 5,4 \times \tan^2 2,29^\circ = 1,065$

Lasketaan taivutusjännitys harjan kohdassa:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,\max}}{\frac{1}{6} \times b \times h_2^2} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{689,1 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 165 \text{ mm} \times (1300 \text{ mm})^2} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

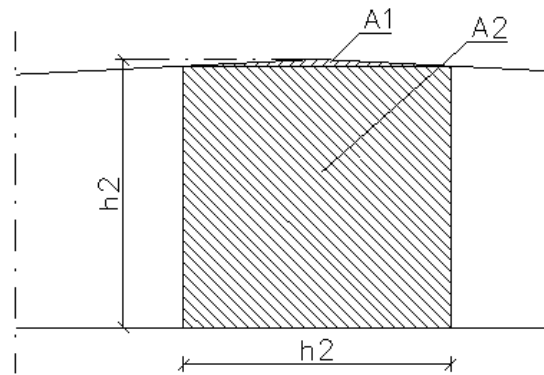
Lasketaan k_r -kerroin (RIL 205-1-2017 s.88):

$$\text{Harjapalkilla } k_r = 1,0 \text{ ja muilla kaarevilla rakenteilla } k_r = \begin{cases} 1, & \text{ kun } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \times \frac{r_{in}}{t}, & \text{ kun } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases}; t = \text{ lamellin paksuus}$$

$$\text{Mitoitusehto: } k_l \times \sigma_{m,d} \leq k_r \times f_{m,d} \Rightarrow 1,07 \times 14,8 \text{ N/mm}^2 \leq 1,0 \times 19,2 \text{ N/mm}^2 (82 \%)$$

Pisteet 1p

POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS HARJALLA



Lasketaan taivutusmomentti palkin keskellä,

$$M_{d,max} = \frac{p_d \times L^2}{8} \Rightarrow M_{d,max} = \frac{24,5 \text{ kN/m} \times (15 \text{ m})^2}{8} = 689,1 \text{ kNm}$$

Lasketaan harja-alueen pinta-ala, $A = A_1 + A_2$

A_1 –osan korkeus:

$$\frac{1}{25} = \frac{h_x}{\frac{h_2}{2}} \Rightarrow h_x = \frac{h_2}{2 \times 25} \Rightarrow h_x = \frac{1300 \text{ mm}}{2 \times 25} = 26,0 \text{ mm}$$

A_1 –osan pinta-ala:

$$A_1 = \frac{h_2}{2} \times h_x \Rightarrow \frac{1,300 \text{ m}}{2} \times 0,026 \text{ m} = 0,0169 \text{ m}^2$$

A_2 –osan pinta-ala:

$$A_2 = (h_2 - h_x) \times h_2 \Rightarrow A_2 = (1,300 \text{ m} - 0,026 \text{ m}) \times 1,300 \text{ m} = 1,656 \text{ m}^2$$

Lasketaan harja-alueen tilavuus:

$$V_h = (A_1 + A_2) \times b \Rightarrow V = (0,0169 \text{ m}^2 + 1,656 \text{ m}^2) \times 0,165 \text{ m} = 0,28 \text{ m}^3$$

Lasketaan koko palkin tilavuus:

$$V_b = \left(L \times h_1 + \frac{L \times (h_2 - h_1)}{2} \right) \times b$$

$$\Rightarrow V_b = \left(15 \text{ m} \times 1,000 \text{ m} + \frac{15 \text{ m} \times (1,300 \text{ m} - 1,000 \text{ m})}{2} \right) \times 0,165 \text{ m} = 2,85 \text{ m}^3$$

Lasketaan mitoittava tilavuus:

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} V_h = 0,28 \\ \frac{2}{3} \times V_b = 1,90 \end{array} \right. \Rightarrow V = 0,28 \text{ m}^3$$

Lasketaan k_p -kerroin:

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

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

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

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

$$\text{eli harjapalkilla } k_p = 0,2 \times \tan \alpha \Rightarrow k_p = 0,2 \times \tan 2,29^\circ = 0,008$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \times \frac{M_{d,\max}}{\frac{1}{6} \times b \times h_2^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{t,90,d} = 0,008 \times \frac{689,1 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 165 \text{ mm} \times (1300 \text{ mm})^2} = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan tilavuuskerroin (liimapuu ja Kerto-S),

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

$$\Rightarrow k_{vol} = \left(\frac{0,01 \text{ m}^3}{0,28 \text{ m}^3} \right)^{0,2} = 0,515$$

Lasketaan jännitysjakauma kerroin,

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

$$\text{eli harjapalkilla } k_{dis} = 1,4$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \times k_{vol} \times f_{t,90,d} \Rightarrow 0,12 \text{ N/mm}^2 \leq 1,4 \times 0,515 \times 0,32 \text{ N/mm}^2 = 0,23 \text{ N/mm}^2 \text{ (52 \%)}$

Jos harja-alueen puun pinnat käsitellään kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä, niin poikittaisen vetojännityksen kaava voidaan korvata seuraavalla: (kun katon sekundäärit tukeutuvat harjapalkin päälle ja harjan kohdalla on orsi/orsia)

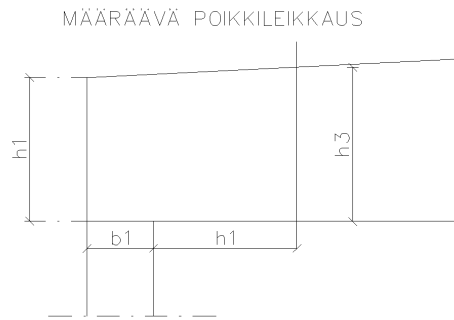
$$\sigma_{t,90,d} = k_p \times \frac{M_{d,\max}}{\frac{1}{6} \times b \times h_2^2} - 0,6 \times \frac{p_d}{b} ; p_d = \text{palkin tasainen kuorma ja } b = \text{palkin leveys}$$

$$\Rightarrow \sigma_{t,90,d} = 0,008 \times \frac{689,1 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 165 \text{ mm} \times (1300 \text{ mm})^2} - 0,6 \times \frac{24,5 \text{ kN/m}}{165 \text{ mm}} = 0,03 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \times k_{vol} \times f_{t,90,d} \Rightarrow 0,03 \text{ N/mm}^2 \leq 1,4 \times 0,515 \times 0,32 \text{ N/mm}^2 = 0,23 \text{ N/mm}^2 \text{ (13 \%)}$

Pisteet 1p

LEIKKAUSKESTÄVYYS TUELLA



Tuella voidaan pienentää tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa ja lisäksi jos palkin puupinnat (tuella) käsitellään kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä, jolloin voidaan hyödyntää koko palkin leveys:

$$V_{red} = V_d \times \left(1 - \frac{2 \times h_1 + b_1}{L} \right); b_1 = \text{pilarin mitta}$$

$$\Rightarrow V_{red} = 183,8 \text{ kN} \times \left(1 - \frac{2 \times 1000 \text{ mm} + 650 \text{ mm}}{15000 \text{ mm}} \right)$$

$$\Rightarrow V_{red} = 183,8 \text{ kN} \times 0,823 = 151,3 \text{ kN}$$

Lisäksi leikkausrasitusta voidaan tarkastella kohdassa, johon lasketaan tukipinnan mitta b_1 (= 650 mm).

Lasketaan määräävä korkeus:

$$\frac{1}{25} = \frac{x}{b_1}; x = h_3 - h_1 \Rightarrow x = \frac{b_1}{25} \Rightarrow x = \frac{650 \text{ mm}}{25} = 26,0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow h_3 = h_1 + x \Rightarrow h_3 = 1000 \text{ mm} + 26,0 \text{ mm} = 1026,0 \text{ mm}$$

Lasketaan leikkausjännitys:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_{red}}{b \times h_3} \leq f_{v,d} \Rightarrow \tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{151,3 \times 10^3 \text{ N}}{165 \text{ mm} \times 1026 \text{ mm}} = 1,34 \leq 2,24 \text{ N/mm}^2 (60 \%)$$

Pisteet 1p

TUKIPAINEKESTÄVYYS

Lasketaan palkin tukireaktio: $R_d = \frac{p_d \times L}{2} \Rightarrow R_d = \frac{24,5 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{2} = 183,8 \text{ kN}$

Lasketaan tehollinen tukipituus ilman tukipinnan levityksiä: $l_{c,90,ef} = 650 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 680 \text{ mm}$

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

, muissa tapauksissa käytetään arvoa 1,0

Tässä tapauksessa käytetään arvoa $k_{c,90} = 1,5$ (liimapuu)

Lasketaan tukipainekerroin:

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \times k_{c,90} \Rightarrow k_{c,\perp} = \frac{680 \text{ mm}}{650 \text{ mm}} \times 1,5 \Rightarrow k_{c,\perp} = 1,57$$

Mitoitusehto:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,90,d} &= \frac{R_d}{b \times l} \leq k_{c,\perp} \times f_{c,90,d} \\ \Rightarrow \sigma_{c,90,d} &= \frac{183,8 \times 10^3 \text{ N}}{165 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}} \leq 1,57 \times 1,60 \text{ N/mm}^2 \\ \Rightarrow \sigma_{c,90,d} &= 1,71 \text{ N/mm}^2 \leq 2,51 \text{ N/mm}^2 \text{ (68 \%, ennen 65 \%)} \end{aligned}$$

Pisteet 1p

TAIPUMA-ARVIO

Lasketaan taipuma-arvio Liimapuu käsikirjan 2015 mukaan, jossa palkin korkeutena käytetään:

$$h_e = h_1 + 0,33 \times L \times \tan \alpha \Rightarrow h_e = 1000 \text{ mm} + 0,33 \times 15\,000 \text{ mm} \times \tan 2,29^\circ = 1198 \text{ mm}$$

Lasketaan jäyhyysmomentti määrävän poikkileikkauksen mukaan:

$$I_y = \frac{b \times h_e^3}{12} \Rightarrow I_y = \frac{165 \text{ mm} \times (1198 \text{ mm})^3}{12} = 23,64 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvästä kuormasta (taivutus + leikkaus):

$$\begin{aligned} w_{inst,G} &= \frac{5}{384} \times \frac{p_{g,k} \times L^4}{E_{0,mean} \times I_y} + 0,35 \times \frac{p_{g,k} \times L^2}{G_{0,mean} \times b \times (h_1 + h_2)} \\ \Rightarrow w_{inst,G} &= \frac{5}{384} \times \frac{4,1 \text{ kN/m} \times (15\,000 \text{ mm})^4}{13\,000 \text{ N/mm}^2 \times 23,64 \times 10^9 \text{ mm}^4} + 0,35 \times \frac{4,1 \text{ kN/m} \times (15\,000 \text{ mm})^2}{650 \text{ N/mm}^2 \times 165 \text{ mm} \times (1000 \text{ mm} + 1300 \text{ mm})} \\ \Rightarrow &8,79 \text{ mm} + 1,31 \text{ mm} = 10,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

hetkellinen taipuma hyötykuormasta (taivutus + leikkaus):

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} \times \frac{p_{q,s,k} \times L^4}{E_{0,mean} \times I_y} + 0,35 \times \frac{p_{q,s,k} \times L^2}{G_{0,mean} \times b \times (h_1 + h_2)}$$

$$\Rightarrow w_{inst,Q} = \frac{5}{384} \times \frac{13,2 \text{ kN/m} \times (15\,000 \text{ mm})^4}{13\,000 \text{ N/mm}^2 \times 23,64 \times 10^9 \text{ mm}^4} + 0,35 \times \frac{13,2 \text{ kN/m} \times (15\,000 \text{ mm})^2}{650 \text{ N/mm}^2 \times 165 \text{ mm} \times (1\,000 \text{ mm} + 1\,300 \text{ mm})}$$

$$\Rightarrow 28,3 \text{ mm} + 4,21 \text{ mm} = 32,5 \text{ mm}$$

lopputaipuma:

$$w_{net,fin} = (1 + k_{def}) \times w_{inst,G} + (1 + 0,2 \times k_{def}) \times w_{inst,Q}$$

$$\Rightarrow w_{net,fin} = (1 + 0,8) \times 8,79 \text{ mm} + (1 + 0,2 \times 0,8) \times 32,5 \text{ mm} = 55,9 \text{ mm}$$

Mitoitusehto:

$$55,9 \text{ mm} (L / 268) \leq 50,0 \text{ mm} (L / 300) (112 \%)$$

Harjapalkkiin voidaan tehdä esikorotus, joka on esim. omanpainon taipuman verran tai vaihtoehtoisesti L/300...L/400 (ei ole normissa määrätty). Jos tehdään esikorotus, niin kokonaistaipuma saa olla enintään L / 200. Esikorotuksella vähennetty lopputaipuma kuitenkin enintään L / 300 (tässä tapauksessa esikorotus oltava vähintään 6 mm).

Pisteet 1p

KIEPAHDUSKESTÄVYYS

Mitoitetaan kiepahdus määräävän poikkileikkauksen mukaan. Valitaan kiepahdusväliksi a = 1 500 mm, jolloin voidaan laskea tehollinen kiepahdusväli, l_{ef} = a + 2 x h_m => l_{ef} = 1 500 mm + 2 x 1 231 mm = 3 962 mm (**HUOM!** Jos palkin kuormitus tulee yläpinnan orsien kautta, jotka toimivat samalla kiepahdustukina => l_{ef} = a).

$$\text{Valitaan kerroin } c = \begin{cases} 0,78 \text{ havupuusahatavara} \\ 0,72 \text{ liimapuu GL30cs} \\ 0,70 \text{ liimapuu GL30c ja GL30hs} \\ 0,68 \text{ liimapuu GL30h} \\ 0,67 \text{ Kerto-Q-LVL} \\ 0,58 \text{ Kerto-S- ja Kerto-T-LVL} \end{cases} \Rightarrow c = 0,70$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h_m \times L_{ef}} \times E_{0.05} \Rightarrow \sigma_{m,crit} = \frac{0,70 \times (165 \text{ mm})^2}{1\,231 \text{ mm} \times 3\,962 \text{ mm}} \times 10\,800 \text{ N/mm}^2 = 42,2 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{30,0 \text{ N/mm}^2}{42,2 \text{ N/mm}^2}} = 0,84$$

$$\text{Lasketaan } k_{crit} = \begin{cases} 1 & ,kun \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \times \lambda_{rel,m} & ,kun 0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & ,kun 1.4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

eli tässä tapauksessa: $k_{crit} = 1.56 - 0.75 \times \lambda_{rel,m} \Rightarrow k_{crit} = 1.56 - 0.75 \times 0.84 = 0.93$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \times f_{m,d} \Rightarrow 15,7 \text{ N/mm}^2 \leq 0,93 \times 19,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (88 \%)}$$

Pisteet 1p