

Esimerkkilaskelma

Vetotangolla vahvistettu palkki

01.12.2018

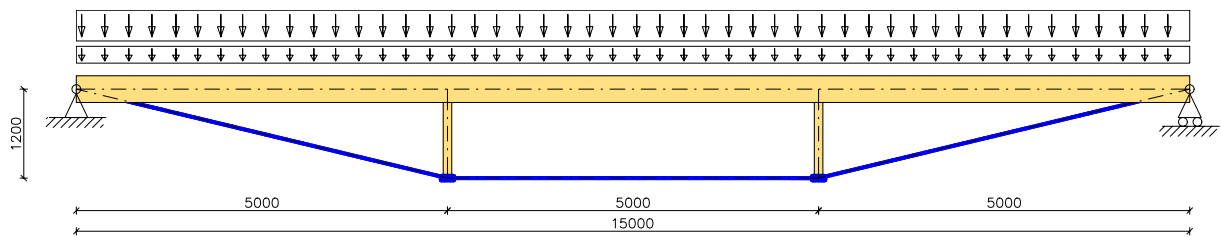
Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT	- 3 -
3	MATERIAALI	- 3 -
4	VOIMASUUREET	- 4 -
5	MITOITUS	- 5 -
5.1	PALKIN PURISTUSKESTÄVYYS.....	- 5 -
5.2	PALKIN TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Y-SUUNTAAN.....	- 5 -
5.3	PALKIN TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Z-SUUNTAAN.....	- 5 -
5.4	PALKIN LEIKKAUSKESTÄVYYS	- 6 -
5.5	PALKIN YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS	- 6 -
5.6	PALKIN KIEPAHDUS (YLÄPINTA).....	- 7 -
5.7	PALKIN KIEPAHDUS (ALAPINTA)	- 8 -
5.8	PALKIN TUKIPINNAT.....	- 10 -
5.9	PURISTUSSAUVOJEN (VERTIKAALIEN) PURISTUSKESTÄVYYS	- 10 -
5.10	VETOTANKOJEN MITOITUS.....	- 11 -
5.11	VAHVISTETUN PALKIN TAIPUMA.....	- 11 -
5.12	VAHVISTETUN PALKIN PALOMITOITUS.....	- 11 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki, julkinen rakennus
Rakenne:	Vetotangolla vahvistettu palkki ja 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

2 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 3000 mm ja kattorakenne (orret) 1-aukkoisia

$\Rightarrow$ Lumikuorma palkille, $p_{q,s,k} = k/k \times q_{s,k} \Rightarrow 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ kN/m}^2 = 6,4 \text{ kN/m}$

OMAPAINO:

Vesikaton omapaino, $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

koska palkkijako 3000 mm ja kattorakenne (orret) 1-aukkoisia

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

Arvioidaan palkin omapaino. Oletetaan se tasakorkeaksi 0,360 m ja leveys 0,115 m ja vetotanko $D = 40 \text{ mm}$

$p_{g,k,2} = 0,360 \text{ m} \times 0,115 \text{ m} \times 5 \text{ kN/m}^3 + \pi \times (0,040 / 2)^2 \times 78 \text{ kN/m}^3 = 0,3 \text{ kN/m}$

Lopullinen omanpainon kuorma palkilla

$\Rightarrow p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} \Rightarrow 1,5 \text{ kN/m} + 0,3 \text{ kN/m} = 1,8 \text{ kN/m}$

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

$\Rightarrow p_d = 1,15 \times 1,8 \text{ kN/m} + 1,5 \times 6,4 \text{ kN/m} = 11,7 \text{ kN/m}$

3 MATERIAALI

Teräksinen vetotanko $D = 40 \text{ mm}$ (S355)

Murtolujuus, $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ ($\gamma_{M2} = 1,25$)

Myötölujuus, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ ($\gamma_{M0} = 1,00$)

Liimapuupalkki GL30c 115x360, VERTIKAALIT 115x115

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1 \Rightarrow k_h = \left(\frac{600}{360} \right)^{0,1} = 1,05 \leq 1,1$$

palkin korkeus alle 600 mm

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,05$

vertikaalin korkeus alle 600 mm

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,1$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 1

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

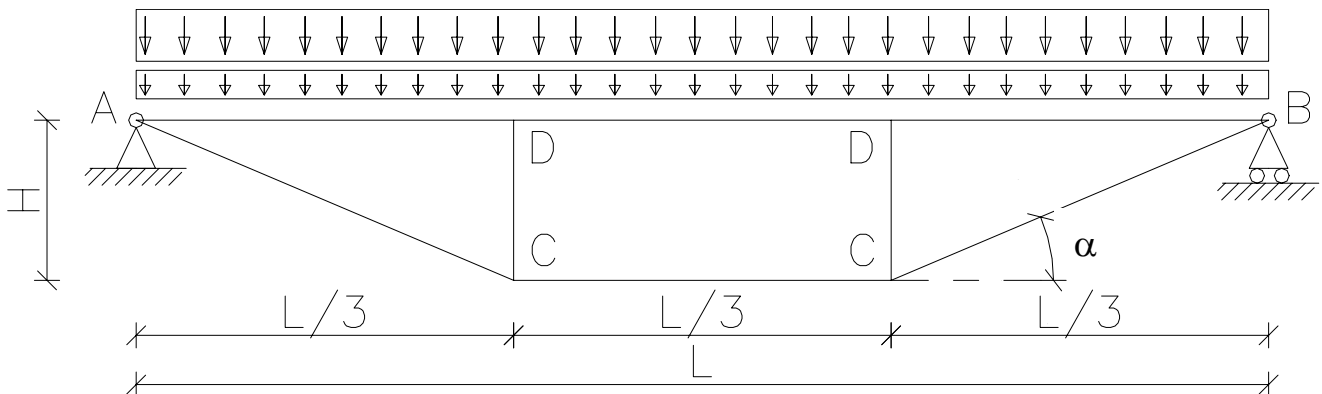
⇒ virumaluku, $k_{def} = 0,6$

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 20,2 \text{ N/mm}^2$ (palkki)
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 21,1 \text{ N/mm}^2$ (vertikaali)
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:	$G_{0,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

4 VOIMASUUREET



$$H = 1\,200 \text{ mm}, L = 15\,000 \text{ mm}, \alpha = \tan^{-1}(1200 \text{ mm} / (15\,000 \text{ mm} / 3)) = 13,5^\circ$$

Lasketaan voimasuureet likimääräiskaavoilla. Kun kyseessä on kahdella vertikaalilla (C-D) jäykistetty palkki, niin saadaan voimasuureet seuraavilla kaavoilla:

Palkki:

Maksimi kenttämomentti (itseisarvo):

$$M_{\max,d} = \frac{1}{112,5} \times p_d \times L^2 \Rightarrow M_{\text{kenttä,max,d}} = \frac{1}{112,5} \times 11,7 \text{ kN/m} \times (15 \text{ m})^2 \Rightarrow 23,4 \text{ kNm}$$

Minimi tukimomentti (itseisarvo):

$$M_{\min,d} = -\frac{1}{90} \times p_d \times L^2 \Rightarrow M_{\text{kenttä,max},d} = \frac{1}{90} \times 11,7 \text{ kN/m} \times (15 \text{ m})^2 \Rightarrow 29,3 \text{ kNm}$$

Maksimi normaalivoima (itseisarvo, puristus):

$$N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times \frac{p_d \times L}{\tan \alpha} \Rightarrow N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times \frac{11,7 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{\tan 13,5^\circ} = 268,0 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima (itseisarvo):

$$V_{\max,d} = \frac{1}{5} \times p_d \times L \Rightarrow V_{\max,d} = \frac{1}{5} \times 11,7 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m} = 35,1 \text{ kN}$$

Vetotanko(t):

Maksimi normaalivoima (itseisarvo, veto):

$$N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times \frac{p_d \times L}{\tan \alpha} \Rightarrow N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times \frac{11,7 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m}}{\tan 13,5^\circ} = 268,0 \text{ kN}$$

Vertikaali(t):

Maksimi normaalivoima (itseisarvo, puristus):

$$N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times p_d \times L \Rightarrow N_{\max,d} = \frac{11}{30} \times 11,7 \text{ kN/m} \times 15 \text{ m} = 64,4 \text{ kN}$$

5 MITOITUS

5.1 PALKIN PURISTUSKESTÄVYYS

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \Rightarrow \sigma_{c,0,d} = \frac{268\,000 \text{ N}}{115 \times 360 \text{ mm}^2} = 6,47 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} (41 \%)$$

5.2 PALKIN TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Y-SUUNTAAN

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} \Rightarrow \sigma_{m,z,d} = \frac{0,0 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 360 \times 115^2} = 0,0 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d} (0 \%)$$

5.3 PALKIN TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Z-SUUNTAAN

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \Rightarrow \sigma_{m,y,d} = \frac{29,3 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 115 \times 360^2} = 11,8 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d} (58 \%)$$

5.4 PALKIN LEIKKAUSKESTÄVYYS

$b_{\text{eff}} = 1,00 \times b \Rightarrow b_{\text{eff}} = 1,00 \times 115 = 115 \text{ mm}$

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{V_d}{A} \Rightarrow \tau_d = 1,5 \times \frac{35,1 \times 10^3}{115 \times 360} = 1,27 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} (57 \%)$$

5.5 PALKIN YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS

Nurjahduskerroin y-suuntaan

Nurjahduspituus: $L_{c,y} = 1,0 \times L \Rightarrow L_{c,y} = 1,0 \times 2\,500 \text{ mm} = 2\,500 \text{ mm}$ (elementtijako)

$$\text{Lasketaan jäyhyyssäde: } i_z = \frac{H}{\sqrt{12}} \Rightarrow i_z = \frac{115}{\sqrt{12}} = 33,2 \text{ mm}$$

$$\text{Lasketaan pilarin hoikkuus: } \lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \Rightarrow \lambda_z = \frac{2\,500}{33,2} = 75,31$$

$$\text{Lasketaan muunnettu hoikkuus: } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \Rightarrow \lambda_{rel,z} = \frac{75,31}{\pi} \times \sqrt{\frac{24,5}{10\,800}} = 1,14$$

Alkukäyryydestä johtuva kerroin: $\beta_c = 0,1$ (liimapuu)

Lasketaan nurjahduskerroin:

$$k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \\ \Rightarrow k_z = 0,5 \times (1 + 0,1 \times (1,14 - 0,3) + 1,14^2) = 1,19$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \\ \Rightarrow k_{c,z} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 1,14^2}} = 0,65 \leq 1$$

Nurjahduskerroin z-suuntaan

Nurjahduspituus: $L_{c,z} = 1,0 \times L \Rightarrow L_{c,z} = 1,0 \times 5\,000 \text{ mm} = 5\,000 \text{ mm}$ (pystytukiväli)

$$\text{Lasketaan jäyhyyssäde: } i_y = \frac{H}{\sqrt{12}} \Rightarrow i_y = \frac{360}{\sqrt{12}} = 103,9 \text{ mm}$$

$$\text{Lasketaan pilarin hoikkuus: } \lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \Rightarrow \lambda_y = \frac{5\,000}{103,9} = 48,11$$

$$\text{Lasketaan muunnettu hoikkuus: } \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \Rightarrow \lambda_{rel,y} = \frac{48,11}{\pi} \times \sqrt{\frac{24,5}{10\,800}} = 0,73$$

Alkukäyryydestä johtuva kerroin: $\beta_c = 0,1$ (liimapuu)

Lasketaan nurjahduskerroin:

$$k_y = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$\Rightarrow k_y = 0,5 \times (1 + 0,1 \times (0,73 - 0,3) + 0,73^2) = 0,79$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

$$\Rightarrow k_{c,y} = \frac{1}{0,79 + \sqrt{0,79^2 - 0,73^2}} = 0,92 \leq 1$$

Yhdistetyt jännitykset (taivutus + puristus):

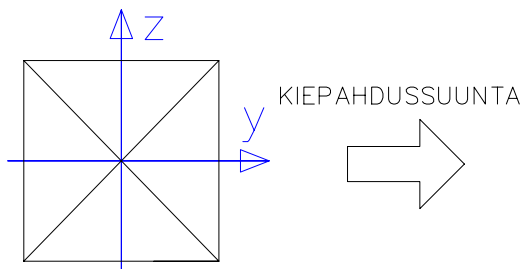
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \frac{6,47}{0,65 \times 15,7} + \frac{0,0}{20,2} + 0,7 \times \frac{11,8}{20,2} = 1,04 \leq 1,00 \text{ (104 \%)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \frac{6,47}{0,92 \times 15,7} + 0,7 \times \frac{0,0}{20,2} + \frac{11,8}{20,2} = 1,03 \leq 1,00 \text{ (103 \%)}$$

5.6 PALKIN KIEPAHDUS (YLÄPINTA)



Lasketaan tehollinen kiepahduspituus, $L_{ef} = a + 2 \times h \Rightarrow 2\,500\text{ mm} + 2 \times 360\text{ mm} = 3\,220\text{ mm}$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys ($c = 0,70$ liimapuu):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times L_{ef}} \times E_{0,05} \Rightarrow \sigma_{m,crit} = \frac{0,70 \times (115\text{ mm})^2}{360\text{ mm} \times 3\,220\text{ mm}} \times 10\,800\text{ N/mm}^2 = 86,3\text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{30,0\text{ N/mm}^2}{86,3\text{ N/mm}^2}} = 0,59$$

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

eli tässä tapauksessa: $k_{crit} = 1,0$

$$\text{taivutusjännitys (kenttä): } \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \Rightarrow \sigma_{m,y,d} = \frac{23,4 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 115 \times 360^2} = 9,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \times f_{m,d} \Rightarrow 9,4 \text{ N/mm}^2 \leq 1,0 \times 20,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (47 \%)}$$

Tarkistetaan myös kiepahduksen ja nurjahduksen yhteisvaikutus:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1,00 \Rightarrow \left(\frac{9,4}{1,0 \times 20,2} \right)^2 + \frac{6,47}{0,65 \times 15,7} = 0,85 \leq 1,00$$

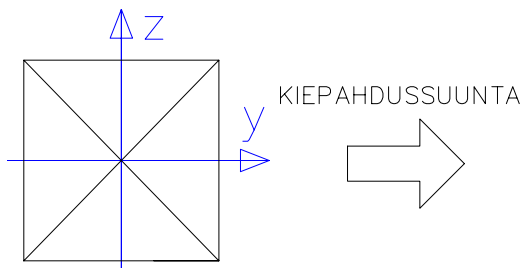
Muutetaan yllä oleva ehto käyttöasteeksi

$$a = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} = \frac{9,4}{1,0 \times 20,2} = 0,465$$

$$b = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{6,47}{0,65 \times 15,7} = 0,634$$

$$\text{käyttöaste: } \frac{2 \times a^2}{\sqrt{b^2 + 4 \times a^2} - b} = \frac{2 \times 0,465^2}{\sqrt{0,634^2 + 4 \times 0,465^2} - 0,634} = 0,880 \text{ (88\%)}$$

5.7 PALKIN KIEPAHDUS (ALAPINTA)



Lasketaan tehollinen kiepahduspituus, $L_{ef} = a + 2 \times h \Rightarrow 15\,000 \text{ mm} + 2 \times 360 \text{ mm} = 15\,720 \text{ mm}$ (tuelta tuettu)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys ($c = 0,70$ liimapuu):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times L_{ef}} \times E_{0.05} \Rightarrow \sigma_{m,crit} = \frac{0,70 \times (115 \text{ mm})^2}{360 \text{ mm} \times 15720 \text{ mm}} \times 10800 \text{ N/mm}^2 = 17,7 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{30,0 \text{ N/mm}^2}{17,7 \text{ N/mm}^2}} = 1,30$$

$$\text{Lasketaan } k_{crit} = \begin{cases} 1 & , \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} & , \text{ kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & , \text{ kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

eli tässä tapauksessa: $k_{crit} = 1,56 - 0,75 \times 1,30 = 0,585$

$$\text{taivutusjännitys (tuki): } \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \Rightarrow \sigma_{m,y,d} = \frac{29,3 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 115 \times 360^2} = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \times f_{m,d} \Rightarrow 11,8 \text{ N/mm}^2 \leq 0,585 \times 20,2 = 12,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (99 \%)} \quad \boxed{}$$

Tarkistetaan myös kiepahduksen ja nurjahduksen yhteisvaikutus:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1,00 \Rightarrow \left(\frac{11,8}{0,585 \times 20,2} \right)^2 + \frac{6,47}{0,65 \times 15,7} = 1,63 \leq 1,00$$

Muutetaan yllä oleva ehto käyttöasteeksi

$$a = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,d}} = \frac{11,84}{0,585 \times 20,2} = 0,999$$

$$b = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{6,47}{0,65 \times 15,7} = 0,634$$

$$\text{käyttöaste: } \frac{2 \times a^2}{\sqrt{b^2 + 4 \times a^2} - b} = \frac{2 \times 0,999^2}{\sqrt{0,634^2 + 4 \times 0,999^2} - 0,634} = 1,365 \text{ (136 \%)}$$

⇒ Tämän palkin alareuna tulisi tukea palkin matkalla esimerkiksi kolmannespisteistä, vertikaalien kohdalta (yhdistetty kiepahdus ja nurjahdus: 100 %)

5.8 PALKIN TUKIPINNAT

Palkin tukipintojen (tuilla ja puristettujen sauvojen kohdalla) riittävyys tulee tarkistaa. Tässä laskelmassa tukipintojen riittävyyttä ei ole tarkastettu.

5.9 PURISTUSSAUVOJEN (VERTIKAALIEN) PURISTUSKESTÄVYYS

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \Rightarrow \sigma_{c,0,d} = \frac{64\,400\text{ N}}{115 \times 115\text{ mm}^2} = 4,87\text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} (31\%)$$

Nurjahduskerroin y- ja z-suuntaan

Nurjahduspituus: $L_{c,z} = L_{c,y} = 1,0 \times L \Rightarrow L_{c,y} = 1,0 \times 1\,200\text{ mm} = 1\,200\text{ mm}$ (neliöpoikkileikkaus), kun vertikaalin alapää tuettu sivusuunnassa

$$\text{Lasketaan jäyhyysäde: } i_z = \frac{H}{\sqrt{12}} \Rightarrow i_z = \frac{115}{\sqrt{12}} = 33,2\text{ mm}$$

$$\text{Lasketaan pilarin hoikkuus: } \lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \Rightarrow \lambda_z = \frac{1200}{33,2} = 36,14$$

$$\text{Lasketaan muunnettu hoikkuus: } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \Rightarrow \lambda_{rel,z} = \frac{36,14}{\pi} \times \sqrt{\frac{24,5}{10\,800}} = 0,55$$

Alkukäyryydestä johtuva kerroin: $\beta_c = 0,1$ (liimapuu)

Lasketaan nurjahduskerroin:

$$k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \\ \Rightarrow k_z = 0,5 \times (1 + 0,1 \times (0,55 - 0,3) + 0,55^2) = 0,66$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \\ \Rightarrow k_c = k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,55^2}} = 0,98 \leq 1$$

Nurjahduskestävyys:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} \leq 1,00 \\ \Rightarrow \frac{4,87}{0,98 \times 15,7} = 0,32 \leq 1,00 (32\%)$$

Vertikaalien kiepahtaminen (sivusuuntaan) tulee eliminoida esimerkiksi

- Tekemällä osittain jäykkäliitos vertikaalin ja palkin välillä tai
- Vertikaalin sivuttaistuennalla

Jos käytetään osittain jäykkää liitosta, vertikaalin nurjahduspituus poikittaissuuntaan tulisi tarkastella mastopilarina. Suositeltavinta on tukea vertikaali sivusuunnassa esimerkiksi vetotangoilla.

5.10 VETOTANKOJEN MITOITUS

Lasketaan poikkileikkauksen myötö:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow N_{pl,Rd} = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\Rightarrow N_{pl,Rd} = \frac{\pi \times \left(\frac{40}{2}\right)^2 \times 355}{1,00} = 446,1 \text{ kN}$$

Mitoitusehto: $N_{\max,d} \leq N_{pl,Rd} \Rightarrow 268 \text{ kN} \leq 446,1 \text{ kN} (60\%)$

Vetotangoissa olisi hyvä käyttää jonkinlaista säätöä, kuten vanttiruuvia.

5.11 VAHVISTETUN PALKIN TAIPUMA

Palkin taipuma olisi hyvä tarkistaa FEM-ohjelmalla, jotta veto- ja puristusmuodonmuutokset tulee huomioitua.

5.12 VAHVISTETUN PALKIN PALOMITOITUS

Vahvistettu palkki voidaan palomitoittaa siten, että palotilanteessa vain liimapuupalkki toimii.