

Esimerkkilaskelma

Mekaanisin liittimin koottu pilari

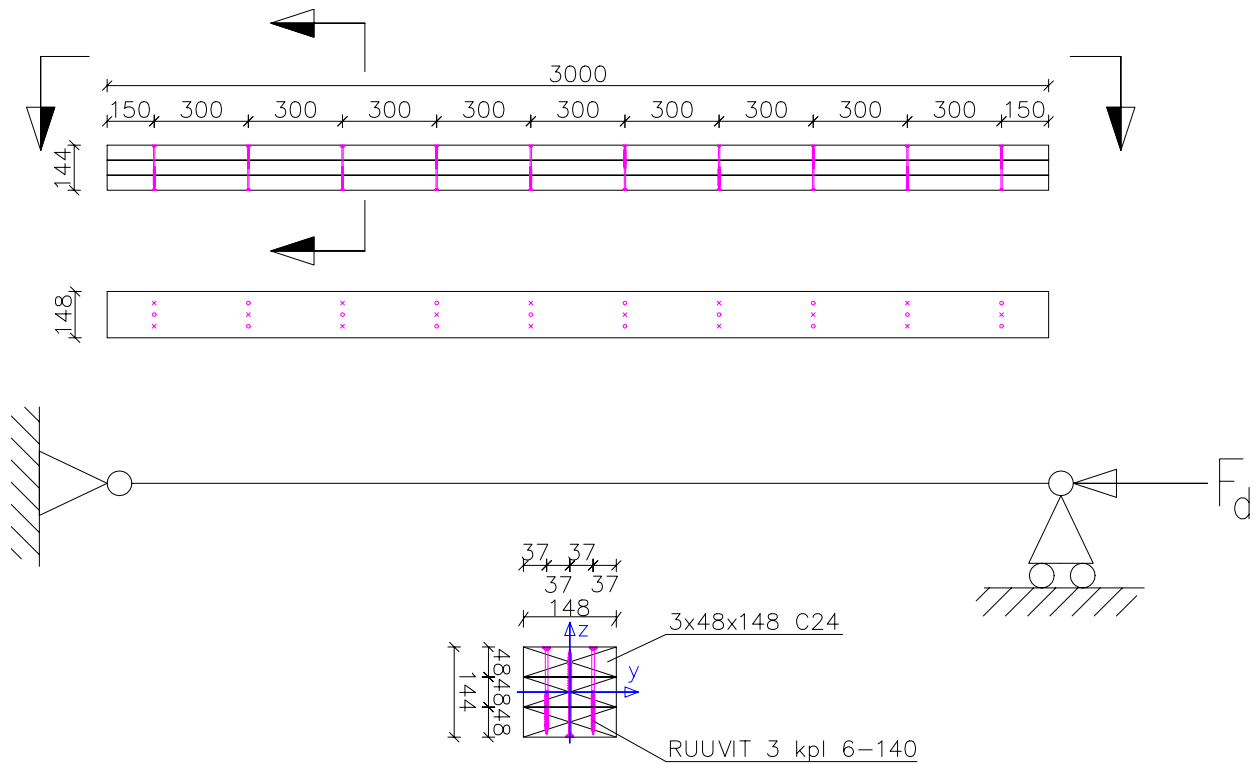
16.01.2019

Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT	- 3 -
3	MATERIAALI	- 4 -
4	MITOITUS	- 5 -
4.1	POIKKILEIKKAUSSUUREET	- 5 -
4.2	MURTORAJATILAMITOITUS	- 6 -
4.2.1	PURISTUSKESTÄVYYS	- 6 -
4.2.2	TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Y-SUUNTAAN	- 6 -
4.2.3	TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Z-SUUNTAAN	- 6 -
4.2.4	LEIKKAUSKESTÄVYYS Y-SUUNTAAN	- 7 -
4.2.5	LEIKKAUSKESTÄVYYS Z-SUUNTAAN	- 7 -
4.2.6	YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS.....	- 7 -
4.2.7	KIEPAHDUS.....	- 9 -
4.2.8	LIITTIMEN KAPASITEETTI.....	- 12 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	Molempiin suuntiin taivutettu, puristettu ja vapaasti tuettu sauva
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1, Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4



2 KUORMAT

Tarkastellaan mekaanisin liittimin (ruuvit 3 kpl 6-140 k300) koottua puristettua sauvaa. Sauvassa on puristusta ja sen lisäksi taivutusta molempiin suuntiin. Taivutus momentti sama molempiin suuntiin, jotta saadaan parempi käsitys liittinten vaikutuksesta. Oletetaan kuormien olevan lumen ja tuulen aiheuttamaa eli lasketaan rakenne aikaluokassa hetkellinen ja käyttöluokassa 2.

Voimasuureet:

taivutusmomentti, $M_{z,d} = M_{y,d} = 5,0 \text{ kNm}$

leikkausvoima, $V_{z,d} = V_{y,d} = V_d = 20,0 \text{ kN}$

puristusvoima, $F_d = 10,0 \text{ kN}$

3 MATERIAALI

Sahatavara C24 3x48x148

$$y\text{-suuntaan: } k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3 \Rightarrow k_h = \left(\frac{150}{148} \right)^{0,2} = 1,00 \leq 1,3 \Rightarrow k_h = 1,0$$

$$z\text{-suuntaan: } k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3 \Rightarrow k_h = \left(\frac{150}{48} \right)^{0,2} = 1,26 \leq 1,3 \Rightarrow k_h = 1,26$$

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 2

⇒ aika- ja käyttöluokka kerroin, $k_{mod} = 1,1$

⇒ virumaluku, $k_{def} = 0,8$

Lujuus- ja jäykkysominaisuudet

materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,3$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,z,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 20,3 \text{ N/mm}^2$ (y-suunta, h=148 mm)
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,y,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 25,6 \text{ N/mm}^2$ (z-suunta, h=48 mm)
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_M = 3,38 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{mod} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 2,11 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 17,8 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{mod} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,34 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (0°):	$f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_M = 12,3 \text{ N/mm}^2$
Kimmomoduuli:	$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,mean} = 690 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 460 \text{ N/mm}^2$
Tiheys:	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$

Puuruuvi 6-140:

kierteen ulkohalkaisija, $d = 6 \text{ mm}$

ruuvien kiertäen osan sydänhalkaisija, $d_i = 3,9 \text{ mm}$

ruuvien tehollinen paksuus, $d_{ef} = 1,1 \times d_i \Rightarrow d_{ef} = 1,1 \times 3,9 = 4,3 \text{ mm}$

ominaisleikkauskestävyys: $R_k = 120 \times d_{ef}^{1,7} \Rightarrow R_k = 120 \times 4,3^{1,7} = 1432 \text{ N/leike}$

Liittimen mitoituskestävyys: $R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times R_k \Rightarrow R_d = \frac{1,1}{1,3} \times 1432 = 1212 \text{ N/leike}$

Vierekkäisten liitinten määrä / rivi: $n_{rivi} = 3$

Liitinjako: $s_1 = 300 \text{ mm}$

$$K_{ser} = \frac{\rho_{mean}^{1,5} \times d}{23} \Rightarrow \frac{420^{1,5} \times 6}{23} = 2245 \text{ N/mm (käyttörajatila)}$$

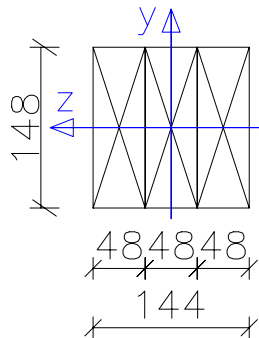
$$K_u = \frac{2}{3} \times K_{ser} \Rightarrow K_u = \frac{2}{3} \times 2245 \text{ N/mm} = 1497 \text{ N/mm (murtorajatila)}$$

4 MITOITUS

4.1 POIKKILEIKKAUSSUUREET

Koska puristetussa sauvassa samat materiaalit voidaan poikkileikkaus suureet merkitä seuraavasti:

Taivutus y-suuntaan:

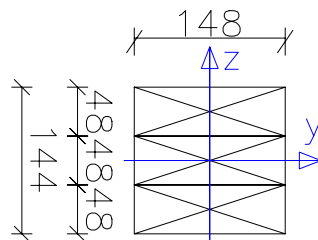


$$\text{jäyhyysmomentti: } I_z = 3 \times \frac{b \times h^3}{12} \Rightarrow I_z = 3 \times \frac{48 \times 148^3}{12} = 38,9 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{poikkileikkauspinta-ala: } A_z = 3 \times b \times h \Rightarrow A_z = 3 \times 48 \times 148 = 21312 \text{ mm}^2$$

$$\text{kimmomoduuli: } E_z = E_{\text{mean}} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

Taivutus z-suuntaan:



$$\text{jäyhyysmomentti: } I_1 = I_2 = I_3 = \frac{h \times b^3}{12} \Rightarrow I_y = I_{ef}$$

$$\text{poikkileikkauspinta-ala: } A_1 = A_2 = A_3 = b \times h \Rightarrow A_1 = 48 \times 148 = 7104 \text{ mm}^2$$

$$\text{kimmomoduuli: } E_1 = E_2 = E_3 = E_{\text{mean}} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

Murtorajatila

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{n_{rivi} \times K_u \times l^2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 11000 \times 7104 \times 300}{3 \times 1497 \times 3000^2}} = 0,149$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_3}{n_{rivi} \times K_u \times l^2}} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 11000 \times 7104 \times 300}{3 \times 1497 \times 3000^2}} = 0,149$$

Keskimmäisen puun painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2) - \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times (h_2 + h_3)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3)}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{0,149 \times 11000 \times 7104 \times (48 + 48) - 0,149 \times 11000 \times 7104 \times (48 + 48)}{2 \times (0,149 \times 11000 \times 7104 + 1,0 \times 11000 \times 7104 + 0,149 \times 11000 \times 7104)} = 0,0 \text{ mm}$$

Reunimmaisen (ylimmän) puun painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_1 = -\frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_1 = -\frac{48}{2} - \frac{48}{2} + 0,0 = -48,0 \text{ mm}$$

Reunimmaisen (alimman) puun painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_3 = \frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_3 = \frac{48}{2} + \frac{48}{2} + 0,0 = 48,0 \text{ mm}$$

Tehollinen taivutusjäykkyys alkutilassa:

$$(EI)_{ef} = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) + (E_3 \times I_3 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef} = (11000 \times 1,36 \times 10^6 + 0,149 \times 11000 \times 7104 \times 48,0^2) + (11000 \times 1,36 \times 10^6 + 1,0 \times 11000 \times 7104 \times 0,0^2) + (11000 \times 1,36 \times 10^6 + 0,149 \times 11000 \times 7104 \times 48,0^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef} = 98,56 \times 10^9 \text{ Nmm}^2$$

4.2 MURTORAJATILAMITOITUS

4.2.1 PURISTUSKESTÄVYYS

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{tot}} \Rightarrow \sigma_{c,0,d} = \frac{10000 \text{ N}}{3 \times 7104 \text{ mm}^2} = 0,47 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,0,d} (3 \%)$$

4.2.2 TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Y-SUUNTAAN

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} \Rightarrow \sigma_{m,z,d} = \frac{5,0 \times 10^6}{3 \times \frac{1}{6} \times 48 \times 148^2} = 9,5 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,z,d} (47 \%)$$

4.2.3 TAIVUTUSKESTÄVYYS POIKKILEIKKAUKSEN Z-SUUNTAAN

Momentin aiheuttama taivutus:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} \times E_{mean}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_1}{2} \Rightarrow \sigma_{m,y,d} = \frac{5,0 \times 10^6 \times 11000}{98,56 \times 10^9} \times \frac{48}{2} = 13,4 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,y,d} (52 \%)$$

Momentin aiheuttama puristus:

$$\sigma_c = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times a_1 \times M_{y,d}}{(EI)_{ef}} \Rightarrow \sigma_c = \frac{0,149 \times 11000 \times 48 \times 5,0 \times 10^6}{98,56 \times 10^9} = 3,99 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d} (22 \%)$$

Momentin aiheuttama veto:

$$\sigma_t = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times a_1 \times M_{y,d}}{(EI)_{ef}} \Rightarrow \sigma_t = \frac{0,149 \times 11000 \times 48 \times 5,0 \times 10^6}{98,56 \times 10^9} = 3,99 \text{ N/mm}^2 \leq f_{t,d} (32 \%)$$

Taivutuskestävyyden käyttöaste puristuspuolella:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_c}{f_{c,0,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{13,4}{25,6} + \frac{3,99}{17,8} = 0,75 \leq 1,0 (75 \%)$$

Taivutuskestävyyden käyttöaste vetopuolella:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_t}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{13,4}{25,6} + \frac{3,99}{12,3} = 0,85 \leq 1,0 (85 \%)$$

4.2.4 LEIKKAUSKESTÄVYYS Y-SUUNTAAN

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{V_d}{A_{tot}} \Rightarrow \tau_d = 1,5 \times \frac{20,0 \times 10^3}{3 \times 48 \times 148} = 1,41 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} (42 \%)$$

4.2.5 LEIKKAUSKESTÄVYYS Z-SUUNTAAN

$$h = 0,5 \times h_2 + a_2 \Rightarrow h = 0,5 \times 48 \text{ mm} + 0,0 \text{ mm} = 24,0 \text{ mm}$$

$$\tau_{2,\max,d} = \frac{\gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3 + 0,5 \times E_2 \times b_2 \times h^2}{b_2 \times (EI)_{eff}} \times V_d$$

$$\Rightarrow \tau_{2,\max,d} = \frac{0,149 \times 11000 \times 7104 \times 48 + 0,5 \times 11000 \times 148 \times 24^2}{148 \times 98,56 \times 10^9} \times 20 \times 10^3$$

$$\Rightarrow \tau_{2,\max,d} = 1,41 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} (42 \%)$$

4.2.6 YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS

Nurjahduskerroin y-suuntaan

Nurjahduspituus: $L_{c,y} = 1,0 \times L \Rightarrow L_{c,y} = 1,0 \times 3\,000 \text{ mm} = 3\,000 \text{ mm}$

$$\text{Lasketaan jäyhyysäde: } i_z = \frac{H}{\sqrt{12}} \Rightarrow i_z = \frac{148}{\sqrt{12}} = 42,7 \text{ mm}$$

$$\text{Lasketaan pilarin hoikkuus: } \lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \Rightarrow \lambda_z = \frac{3000}{42,7} = 70,22$$

$$\text{Lasketaan muunnettu hoikkuus: } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \Rightarrow \lambda_{rel,z} = \frac{70,22}{\pi} \times \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,19$$

Alkukäyrydestä johtuva kerroin: $\beta_c = 0,2$ (sahatavara)

Lasketaan nurjahduskerroin:

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

$$\Rightarrow k_z = 0,5 \times (1 + 0,2 \times (1,19 - 0,3) + 1,19^2) = 1,30$$

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

$$\Rightarrow k_{c,z} = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,19^2}} = 0,55 \leq 1$$

Nurjahduskerroin z-suuntaan

Nurjahduspituus: $L_{c,z} = 1,0 \times L \Rightarrow L_{c,z} = 1,0 \times 3\,000\text{ mm} = 3\,000\text{ mm}$

Lasketaan jäyhyysmomentti: $I_{ef} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{mean}} \Rightarrow I_{ef} = \frac{98,56 \times 10^9}{11\,000} = 8,96 \times 10^6\text{ mm}^4$

Lasketaan pilarin hoikkuus: $\lambda_y = L_{c,z} \times \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}} \Rightarrow \lambda_y = 3\,000 \times \sqrt{\frac{3 \times 48 \times 148}{8,96 \times 10^6}} = 146,3$

Lasketaan muunnettu hoikkuus: $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \Rightarrow \lambda_{rel,y} = \frac{146,3}{\pi} \times \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 2,48$

Alkukäyrydestä johtuva kerroin: $\beta_c = 0,2$ (sahatavara)

Lasketaan nurjahduskerroin:

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

$$\Rightarrow k_y = 0,5 \times (1 + 0,2 \times (2,48 - 0,3) + 2,48^2) = 3,79$$

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

$$\Rightarrow k_{c,y} = \frac{1}{3,79 + \sqrt{3,79^2 - 2,48^2}} = 0,15 \leq 1$$

Yhdistetyt jännitykset (taivutus + puristus):

Kun osasauva on kokonaan puristettu, ei k_m -kerrointa huomioida puristuksessa (otetaan huomioon taivutusjännitysten piste-mäisyys nurkassa)

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

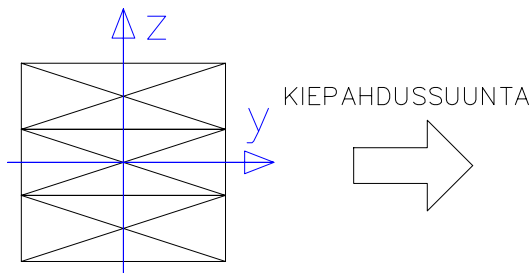
$$\Rightarrow 0,7 \times \left(\frac{13,4}{25,6} \right) + \frac{3,99}{17,8} + \frac{9,5}{20,3} + \frac{0,47}{0,55 \times 17,8} = 1,11 \leq 1,00 \text{ (111 \%)}$$

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

$$\Rightarrow \frac{13,4}{25,6} + \frac{3,99}{17,8} + 0,7 \times \frac{9,5}{20,3} + \frac{0,47}{0,15 \times 17,8} = 1,12 \leq 1,00 \text{ (112 \%)}$$

HUOM! vastaavat yhtenäisen (144x148) tolpan arvot on 85,1 % ja 85,7 %

4.2.7 KIEPAHDUS



Lasketaan tehollinen kiepahduspituus, $L_{ef} = L + 2 \times h \Rightarrow 3000 \text{ mm} + 2 \times 144 \text{ mm} = 3288 \text{ mm}$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys ($c = 0,78$ havupuusahatavara):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times L_{ef}} \times E_{0.05} \Rightarrow \sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times (148 \text{ mm})^2}{144 \text{ mm} \times 3288 \text{ mm}} \times 7400 \text{ N/mm}^2 = 267,0 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{24,0 \text{ N/mm}^2}{267,0 \text{ N/mm}^2}} = 0,30$$

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

eli tässä tapauksessa: $k_{crit} = 1,0$ (lankkuja taivutetaan lappeellaan)

$$\text{Mitoitusehto: } (\sigma_{m,y,d} + \sigma_c) \leq k_{crit} \times f_{m,y,d} \Rightarrow (13,4 + 3,99) \text{ N/mm}^2 \leq 1,0 \times 25,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (68 \%)}$$

Tarkistetaan myös kiepahduksen ja nurjahduksen yhteisvaikutus:

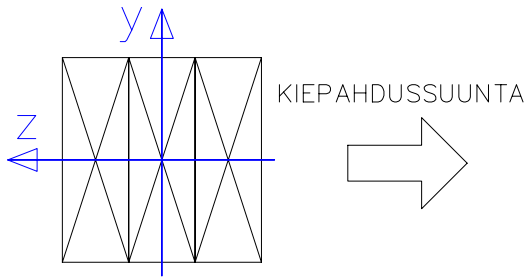
$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d} + \sigma_c}{k_{crit} \times f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1,00 \Rightarrow \left(\frac{13,4 + 3,99}{1,0 \times 25,6} \right)^2 + \frac{0,47}{0,55 \times 17,8} = 0,51 \leq 1,00$$

Muutetaan yllä oleva ehto käyttöasteeksi

$$a = \frac{\sigma_{m,y,d} + \sigma_c}{k_{crit} \times f_{m,y,d}} = \frac{13,4 + 3,99}{1,0 \times 25,6} = 0,679$$

$$b = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{0,47}{0,55 \times 17,8} = 0,048$$

käyttöaste:
$$\frac{2 \times a^2}{\sqrt{b^2 + 4 \times a^2} - b} = \frac{2 \times 0,679^2}{\sqrt{0,048^2 + 4 \times 0,679^2} - 0,048} = 0,704 \text{ (70\%)}$$



Lasketaan tehollinen kiepahduspituus, $L_{ef} = L + 2 \times h \Rightarrow 3000 \text{ mm} + 2 \times 148 \text{ mm} = 3296 \text{ mm}$

Kriittinen taivutusjännitys:

Lasketaan kuvitteelliselle umpipoikkileikkaukselle C24, jonka taivutusjäyhyys kiepahdussuuntaan vastaa kootun poikkileikkauksen tehollista taivutusjäyhyyttä:



$$I_{eff} = \frac{h \times b^3}{12} \Rightarrow b = \left(\frac{12 \times I_{ef}}{h} \right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow b = \left(\frac{12 \times 8,96 \times 10^6}{148} \right)^{\frac{1}{3}} = 89,90$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys ($c = 0,78$ havupuusahatavara):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times L_{ef}} \times E_{0.05} \Rightarrow \sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times (89,9 \text{ mm})^2}{148 \text{ mm} \times 3296 \text{ mm}} \times 7400 \text{ N/mm}^2 = 95,63 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{24,0 \text{ N/mm}^2}{95,63 \text{ N/mm}^2}} = 0,50$$

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

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

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m,z,d} \leq k_{crit} \times f_{m,d} \Rightarrow 9,5 \text{ N/mm}^2 \leq 1,0 \times 20,3 \text{ N/mm}^2 \text{ (47 \%)}$$

Tarkistetaan kiepahduksen ja nurjahduksen yhteisvaikutus:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \leq 1,00 \Rightarrow \left(\frac{9,5}{1,0 \times 20,3} \right)^2 + \frac{0,47}{0,15 \times 17,8} = 0,40 \leq 1,00$$

Muutetaan yllä oleva ehto käyttöasteeksi

$$a = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} = \frac{9,5}{1,0 \times 20,3} = 0,468$$

$$b = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} = \frac{0,47}{0,15 \times 17,8} = 0,176$$

$$\text{käyttöaste: } \frac{2 \times a^2}{\sqrt{b^2 + 4 \times a^2} - b} = \frac{2 \times 0,468^2}{\sqrt{0,176^2 + 4 \times 0,468^2} - 0,176} = 0,564 \text{ (56 \%)}$$

4.2.8 LIITTIMEN KAPASITEETTI

liittimeen vaikuttaa ulkoisen vaakakuorman aiheuttama leikkausvoima, $V_d = V_{1,d} = 20,0 \text{ kN}$ ja tämän lisäksi liittimiin vaikuttaa normaalivoiman aiheuttama leikkausvoima, $V_{2,d}$. Kyseinen leikkausvoima lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$V_{2,d} = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \times k_{c,y}}, & \text{kun } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \times \lambda_{ef}}{3600 \times k_{c,y}}, & \text{kun } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \times k_{c,y}}, & \text{kun } \lambda_{ef} \geq 60 \end{cases}$$

$$I_{ef} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{mean}} \Rightarrow I_{ef} = \frac{98,56 \times 10^9}{11000} = 8,96 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\lambda_{ef} = l \times \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}} \Rightarrow \lambda_{ef} = 3000 \times \sqrt{\frac{21312}{8,96 \times 10^6}} = 146,3$$

Koska $\lambda_{ef} = 146,3$ ja $F_{c,d} = N_d$, saadaan

$$V_{2,d} = \frac{F_{c,d}}{60 \times k_{c,y}} \Rightarrow V_{2,d} = \frac{10 \text{ kN}}{60 \times 0,15} = 1,11 \text{ kN}$$

Liittimeen vaikuttavat leikkausvoimat: $V_d = V_{1,d} + V_{2,d} = 20,0 \text{ kN} + 1,11 \text{ kN} = 21,11 \text{ kN}$

Liittimeen vaikuttava voima:

$$T_d = \frac{\gamma_1 \times V_d \times A_1 \times E_{mean}}{(EI)_{ef}} \times a_1 \Rightarrow T_d = \frac{0,149 \times 21,11 \times 10^3 \times 7104 \times 11000}{98,56 \times 10^9} \times 48,0 = 120,3 \text{ kN/m}$$

Liittimien kapasiteetti / leike:

$$F_{Ed} = \frac{s \times T_d}{n_{rivi}} \Rightarrow F_{Ed} = \frac{300 \times 120,3}{3} = 12031 \text{ N}$$

$$F_{Ed} \leq R_d (993 \%) \Rightarrow \text{ei kestä!}$$