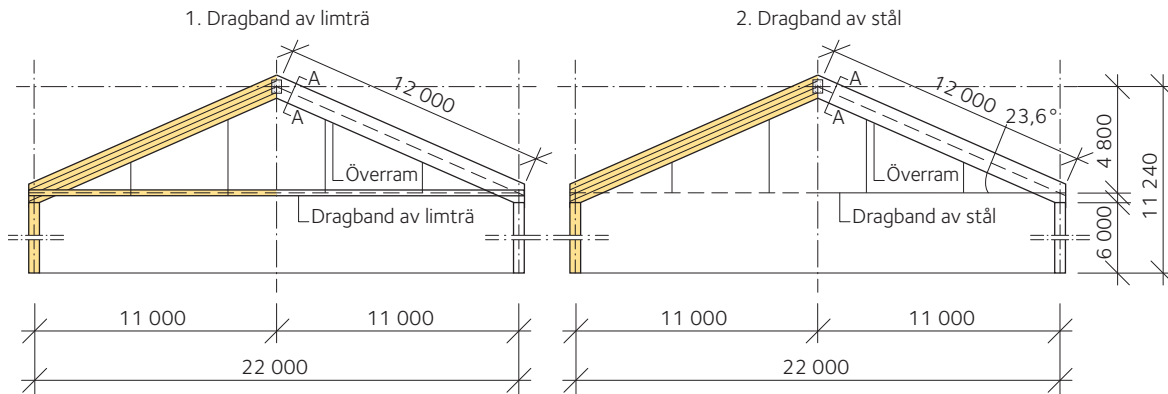


Exempel 5: Treledstakstol

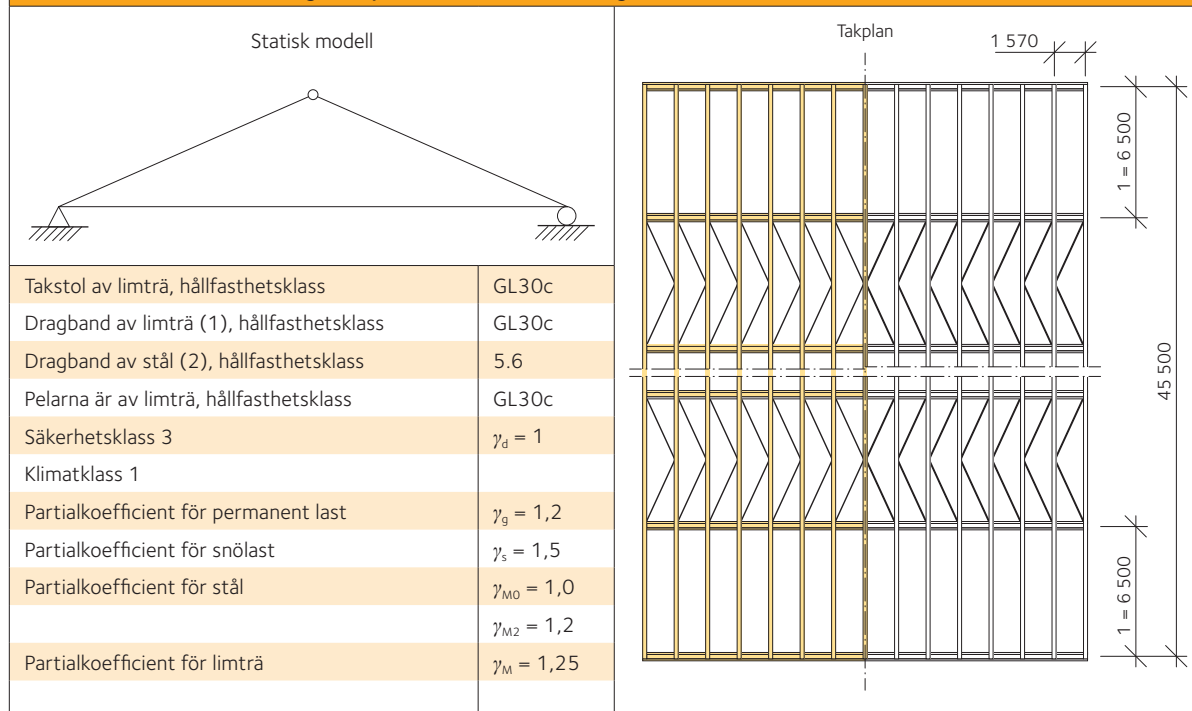
5.1 Konstruktion, mått och dimensioneringsunderlag

Dimensionera treledstakstolen enligt nedan.

Beakta två olika fall: 1. Dragband av limträ. 2. Dragband av stål.



Bestäm tvärsnittets mått enligt den preliminära dimensioneringen beskriven i avsnitt 5.4, sidan 2.



5.2 Laster

Beakta följande laster vid dimensionering:

Limträ

$$G_{k,1} = 0,1 \text{ kN/m}^2 \quad g_{k,1} = G_{k,1} \cdot i = 0,1 \cdot 6,5 = 0,65 \text{ kN/m}$$

Övrig permanent last

$$G_{k,2} = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad g_{k,2} = G_{k,2} \cdot i \cdot 1,1 = 0,4 \cdot 6,5 \cdot 1,1 = 2,9 \text{ kN/m}$$

Snölast

$$S_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Läsida} \quad s_{k,l} = S_k \cdot i \cdot \mu \cdot 1,1 = 2 \cdot 6,5 \cdot 1,03 \cdot 1,1 = 14,75 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lovartsida} \quad s_{k,r} = S_k \cdot i \cdot \mu \cdot 1,1 = 2 \cdot 6,5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 11,4 \text{ kN/m}$$

Egenvikterna beaktade i ekvationerna ovan är lasternas projektion i horisontalplanet.

Faktorn 1,1 i ekvationerna ovan beaktar att sekundärbalkarna är kontinuerliga över primärbalkarna.

Antagen oliksidig fördelning av snölast enligt EKS 10. Snörasskydd kan förekomma.

5.3 Lastkombinationer

Beakta tre lastkombinationer (SS-EN 1990, avsnitt 6.4.3 och SS-EN 1991-1-3, avsnitt 5.3.3):

Kombination 1 (egentyngd, permanent last, $k_{\text{mod}} = 0,6$):

$$q_{dl} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2})] = 1 \cdot 1,2 \cdot (0,65 + 2,86) = 4,21 \text{ kN/m}$$

Kombination 2a (egentyngd + snölast, osymmetrisk medellång last, $k_{\text{mod}} = 0,8$):

$$\text{Läsida} \quad q_{dIIA,l} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,l}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,65 + 2,86) + 1,5 \cdot 14,75] = 26,41 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lovartsida} \quad q_{dIIA,r} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,r}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,65 + 2,86) + 1,5 \cdot 11,44] = 21,37 \text{ kN/m}$$

Kombination 2b (egentyngd + snölast, osymmetrisk medellång last, $k_{\text{mod}} = 0,8$):

$$\text{Läsida} \quad q_{dIIB,l} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,l}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,65 + 2,86) + 1,5 \cdot 14,75] = 26,41 \text{ kN/m}$$

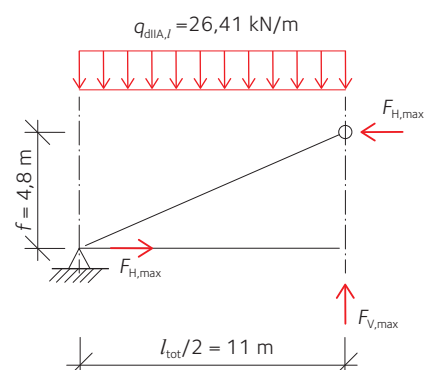
$$\text{Lovartsida} \quad q_{dIIB,r} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot 0,5 \cdot s_{k,r}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,65 + 2,86) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 11,44] = 12,79 \text{ kN/m}$$

5.4 Preliminär dimensionering

Utför preliminär dimensionering enligt rekommendationerna i *Projektering av limträkonstruktioner*, avsnitt 9.1 och 9.2:

$$F_{V,\text{max}} = \frac{(3 \cdot q_{dIIA,l} + q_{dIIA,r}) \cdot l_{\text{tot}}}{8} = \frac{(3 \cdot 26,41 + 21,37) \cdot 22}{8} = 277 \text{ kN}$$

$$F_{H,\text{max}} = \frac{(q_{dIIA,l} + q_{dIIA,r}) \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot f} = \frac{(26,41 + 21,37) \cdot 22^2}{16 \cdot 4,8} = 301 \text{ kN}$$



Överram:

$$b = \frac{l_{\text{tot}}}{170} = \frac{22}{170} = 0,13 \text{ m} \rightarrow b = 140 \text{ mm}$$

$$h = \frac{k_1}{2} + 0,5 \cdot \sqrt{k_1^2 + 4 \cdot k_2} = \frac{190,7}{2} + 0,5 \cdot \sqrt{190,7^2 + 4 \cdot 891632,5} = 1044 \text{ mm} \rightarrow h = 1035 \text{ mm}$$

där k_1 och k_2 definieras som:

$$k_1 = \frac{q_{\text{dIIA},l} \cdot l_{\text{tot}}}{54,4 \cdot b \cdot \sin(\alpha)} = \frac{26,41 \cdot 22 \cdot 10^3}{54,4 \cdot 140 \cdot \sin(23,6^\circ)} = 190,7 \text{ mm}$$

$$k_2 = \frac{q_{\text{dIIA},l} \cdot l_{\text{tot}}^2}{102,4 \cdot b} = \frac{26,41 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{102,4 \cdot 140} = 891632,5 \text{ mm}^2$$

Dragband av limträ (består av två skilda element):

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{F_{\text{H,max}}}{0,7 \cdot f_{t,0,d}} = \frac{301,12 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 12,48} = 34468,86 \text{ mm}^2$$

$$h_{\text{min}} = \frac{A_{\text{min}}}{2 \cdot b} = \frac{34468,86}{2 \cdot 90} = 191,49 \text{ mm} \rightarrow h = 315 \text{ mm}$$

Minsta rekommenderade bredd för dragband av limträ är 90 mm.

Välj tvärsnittshöjden för de två dragbandsdelarna så att:

- du kompenserar för minskningen av nettoarean förorsakad av fästdonens hål.
- du får tillräckligt med utrymme för fästdonen.

I exemplet rekommenderas en minsta höjd h som är 315 mm.

Använd reduktionsfaktorn 0,7 för att beakta förminskningen av tvärsnittsarean som förorsakas av hålen.

Dragband av stål (består av två skilda stänger):

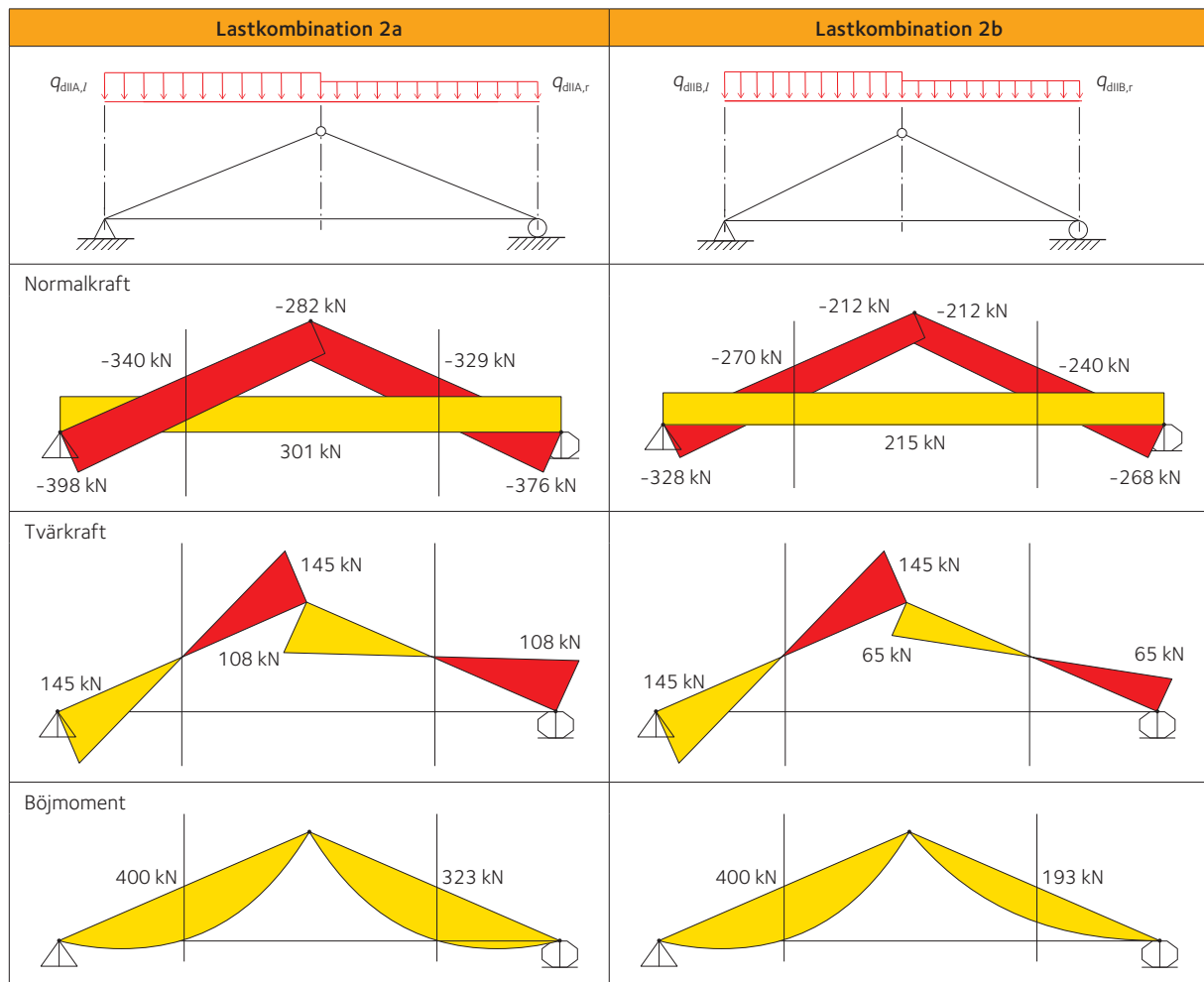
$$A_{s,\text{min}} = \frac{1}{2} \cdot \left(F_{\text{H,max}} \cdot \frac{1,4}{f_{\text{uk}}} \right) = \frac{1}{2} \cdot 301,12 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,4}{500} = 421,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{välj M27 } A_s = 459 \text{ mm}^2$$

Pelare:

$$b = 140 \text{ mm} \quad h_{\text{min}} = \frac{F_{\text{V,max}}}{f_{c,\beta,d} \cdot b} = \frac{276,87 \cdot 10^3}{4,95 \cdot 140} = 400 \text{ mm} \rightarrow h = 405 \text{ mm}$$

Värdet av $f_{c,\alpha,d}$ anges i avsnitt 5.6 c), sidan 6.

5.5 Inre krafter och moment



Lastkombination 2a är dimensionerande.

5.6 Överram

a) Skjuvning

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 145 \cdot 10^3}{2 \cdot 140 \cdot 1035} = 1,50 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för skjuvspänning (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.13)

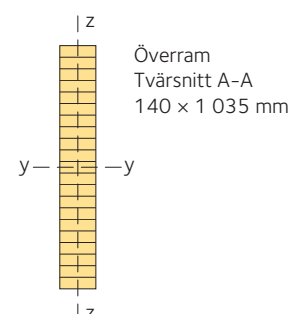
$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,50}{0,86 \cdot 2,24} = 0,78 < 1 \quad \text{OK}$$

b) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck

Överramen är stagad i sidled. Avståndet mellan stagpunkterna är 1,57 m.

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{Ed}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 400 \cdot 10^6}{140 \cdot 1035^2} = 16,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{340 \cdot 10^3}{140 \cdot 1035} = 2,3 \text{ MPa}$$



Stabilitetskontroll kring z-axeln (utknäckning i y-riktning)

Knäcklängd:

$$l_{0,z} = \frac{1,57}{\cos(\alpha)} = \frac{1,57}{\cos(23,6^\circ)} = 1,71 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{A \cdot (l_{0,z})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{140^3 \cdot 1035}{12}}{140 \cdot 1035 \cdot (1,71 \cdot 10^3)^2} = 59,33 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{59,33}} = 0,64$$

Faktor k:

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = \frac{1}{2} \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,64 - 0,3) + 0,64^2] = 0,72$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,64^2}} = 0,95$$

Stabilitetskontroll kring y-axeln (utknäckning i z-riktning)

Knäcklängd:

$$l_{0,y} = \frac{l_{tot}}{\cos(\alpha)} = \frac{22}{\cos(23,6^\circ)} = 12 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_y}{A \cdot (l_{0,y})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{140 \cdot 1035^3}{12}}{140 \cdot 1035 \cdot (12 \cdot 10^3)^2} = 66,06 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{24,5}{66,06}} = 0,61$$

Faktor k:

$$k_y = \frac{1}{2} \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = \frac{1}{2} \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,61 - 0,3) + 0,61^2] = 0,70$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,70 + \sqrt{0,70^2 - 0,61^2}} = 0,95$$

Vipningskontroll

Effektiv vipningslängd:

$$l_{0,z} = \frac{1,57}{\cos(\alpha)} = \frac{1,57}{\cos(23,6^\circ)} = 1,71 \text{ m}$$

Kritisk böjspanning:

$$\sigma_{cr,m} = \frac{\pi}{W_y \cdot l_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,5} \cdot I_{tor}} = \frac{\pi}{140 \cdot 1035^2 \cdot 1713,3} \cdot \sqrt{10800 \cdot \frac{1035 \cdot 140^3}{12} \cdot 540 \cdot \frac{140^3 \cdot 1035}{3}} = 83,87 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{cr,m}}} = 0,598$$

Reduktionsfaktor vid vippning:

$$\text{för } \lambda > 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1$$

Kontrollera villkoret för knäckning kring y-axeln och böjning kring y-axeln (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.23):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,35}{0,95 \cdot 15,68} + \frac{16,0}{19,2} = 0,99 < 1 \quad \text{OK}$$

Kontrollera villkoret för knäckning kring z-axeln och böjning kring y-axeln (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.24):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + 0,7 \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,35}{0,95 \cdot 15,68} + 0,7 \cdot \frac{16,0}{19,2} = 0,74 < 1 \quad \text{OK}$$

Kontrollera villkoret för vippning och knäckning kring z-axeln och böjning kring y-axeln (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.35):

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{16,0}{19,2} \right)^2 + \frac{2,35}{0,95 \cdot 15,68} = 0,85 < 1 \quad \text{OK}$$

c) Tryck i en vinkel β mot fibrerna vid upplag

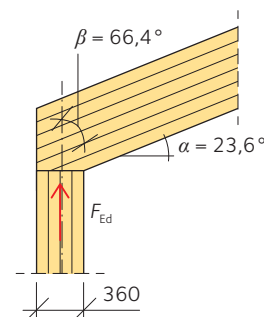
$$\sigma_{c,\beta,d} = \frac{F_{Ed}}{(h_{col} + 30 \cdot \cos(\alpha)) \cdot b_{col}} = \frac{277 \cdot 10^3}{(405 + 30 \cdot \cos(23,6^\circ)) \cdot 140} = 4,57 \text{ MPa}$$

 $f_{c,90,d}$ kan ersättas med $f_{c,90,k}$ eftersom $g_k/s_k < 0,4$, se tabell 8.11 och 8.12, sidan 5 i avsnitt 8 och 8.13, sidan 6 i avsnitt 8.

$$f_{c,\beta,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\left(\frac{f_{c,0,d}}{1,75 \cdot f_{c,90,k}} \right) \cdot \sin(\beta)^2 + \cos(\beta)^2} = \frac{15,68}{\frac{15,68}{1,75 \cdot 2,5} \cdot \sin(66,4^\circ)^2 + \cos(66,4^\circ)^2} = 4,95 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för tryckspanning i en vinkel β mot fibrerna (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.16):

$$\frac{\sigma_{c,\beta,d}}{f_{c,\beta,d}} = \frac{4,57}{4,95} = 0,92 < 1 \quad \text{OK}$$



5.7 Dragband av limträ

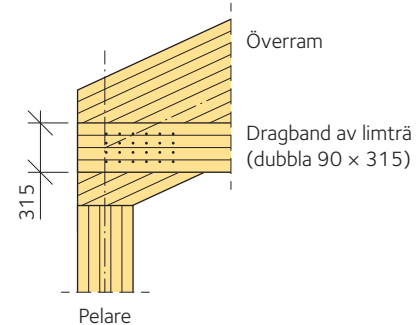
Beräkna dragspänningen i nettotvärsnittet. Anta att förbandet har 4 rader med fästdon, $d = 11$ mm.

$$\sigma_{t,d} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot [b \cdot (h - 4 \cdot 11)]} = \frac{301 \cdot 10^3}{2 \cdot 90 \cdot (315 - 4 \cdot 11)} = 6,17 \text{ MPa}$$

Dimensionering av förbandet visas i *exempel 17*.

Kontrollera villkoret för dragspänning (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.1):

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{6,17}{12,48} = 0,49 < 1 \quad \text{OK}$$



5.8 Dragband av stål

a) Dragkraft

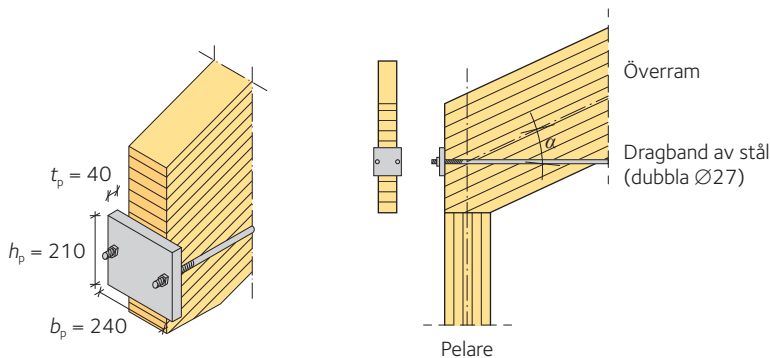
$$T_{Ed} = 275 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Bestäm bärförmågan (SS-EN 1993-1-8, tabell 3.4):

$$T_{Rd} = 2 \cdot \frac{A_s \cdot f_{uk} \cdot 0,9}{\gamma_{M2}} \cdot 10^{-3} = \frac{459 \cdot 500 \cdot 0,9}{1,2} \cdot 10^{-3} = 344,25 \text{ kN}$$

Kontrollera villkoret för dragning (SS-EN 1993-1-1, ekvation 6.5):

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{301}{344,3} = 0,87 < 1 \quad \text{OK}$$



b) Tryck i en vinkel α mot fibrerna

Välj storleken på stålplattan så att lokalt tryckbrott i överramen inte sker.

Använd plåt av stål S355 med dimensionerna $h_p = 210$ mm, $t_p = 40$ mm:

$$T_{Ed} \leq f_{c,\alpha,d} \cdot A_{ef,plate}$$

$$A_{ef,plate} = \beta \cdot b_{rafter} \cdot h_{plate} = 1 \cdot 140 \cdot 210 = 29400 \text{ mm}^2$$

där β är reduktionsfaktorn för area:

$$\beta = \min \left(1, \frac{2 \cdot t_{plate}}{b_{rafter}} \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{2 \cdot f_{c,\alpha,d}}} \right) = \min \left(1, \frac{2 \cdot 40}{140} \cdot \sqrt{\frac{300}{2 \cdot 11,09}} \right) = 1$$

$f_{c,90,d}$ kan ersättas med $f_{c,90,k}$ eftersom $g_k/s_k < 0,4$, se tabell 8.11 och 8.12, sidan 5 i avsnitt 8, och 8.13, sidan 6 i avsnitt 8:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{1,75 \cdot f_{c,90,k} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = \frac{15,68}{1,75 \cdot 2,5 \cdot \sin(23,6^\circ)^2 + \cos(23,6^\circ)^2} = 11,09 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för tryckspänning i en vinkel α mot fibrerna (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.16):

$$\frac{T_{Ed}}{A_{ef,plate} \cdot f_{c,\alpha,d}} = \frac{301 \cdot 10^3}{29400 \cdot 11,09} = 0,92 < 1 \quad \text{OK}$$

c) Krafter och moment som överförs till pelaren

Pelarna antas vara fast inspända vid foten. Deformationen av stålstången ökar böjspänningen i pelarna:

$$\delta_{tie} = \frac{T_{Ed}}{E_{steel} \cdot A} \cdot l_{tot} = \frac{301 \cdot 10^3}{210000 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot 27^2}{4}} \cdot 22 \cdot 10^3 = 27,5 \text{ mm}$$

Tvärkraft i pelaren:

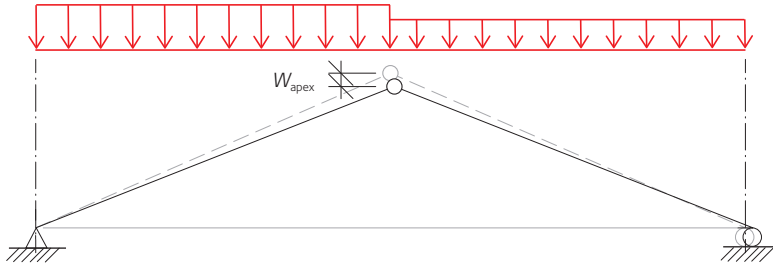
$$F_{column} = \frac{\delta_{tie}}{2} \cdot \frac{3 \cdot E_{0,05} \cdot \frac{b_{col} \cdot h_{col}}{12}}{(l_{col})^3} \cdot 10^{-3} = \frac{27,5}{2} \cdot \frac{3 \cdot 10800 \cdot \frac{140 \cdot 405^3}{12}}{6000^3} \cdot 10^{-3} = 1,60 \text{ kN}$$

Böjmoment vid pelarfot:

$$M_{column} = F_{column} \cdot l_{col} = 1,60 \cdot 6 = 9,61 \text{ kNm}$$

5.9 Beräkningar i bruksgränstillstånd

Nedböjningen vidnocken:



Beakta två lastkombinationer:

Kombination SLS 1 (permanenta laster):

$$q_{\text{sls},1} = g_{k,1} + g_{k,2} = 0,7 + 2,9 = 3,58 \text{ kN/m}$$

Kombination SLS 2 (osymmetrisk snölast):

$$q_{\text{sls},2,l} = s_{k,l} = 14,75 = 14,75 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{sls},2,r} = s_{k,r} = 11,4 = 11,44 \text{ kN/m}$$

a) Konstruktion med dragband av limträ

Beräkna initialnedböjningen vidnocken av jämnt fördelad last q_1 , se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 6.2*:

$$w_{\text{inst},1} = \frac{q_1 l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}} \cdot \tan(\alpha)^2} \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}}}{E_{0,m} \cdot b_{\text{tie}} \cdot h_{\text{tie}} \cdot 2} \right) = \frac{1 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 13000 \cdot 140 \cdot 1035 \cdot \tan(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{13000 \cdot 140 \cdot 1035}{13000 \cdot 90 \cdot 315 \cdot 2} \right) = 0,33 \text{ mm}$$

Initialnedböjning förorsakad av permanent last:

$$w_{\text{inst,permanent}} = w_{\text{inst},1} \cdot q_{\text{sls},1} = 0,33 \cdot 2 \cdot 3,58 = 2,32 \text{ mm}$$

Initialnedböjning förorsakad av snölast:

$$w_{\text{inst,snow}} = w_{\text{inst},1} \cdot q_{\text{sls},2} = 0,33 \cdot (14,75 + 11,44) = 8,51 \text{ mm}$$

Slutlig nedböjning förorsakad av permanent last:

$$w_{\text{final,perm}} = w_{\text{inst,permanent}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 2,32 \cdot (1 + 0,6) = 3,71 \text{ mm}$$

Slutlig nedböjning förorsakad av snölast:

$$w_{\text{final,snow}} = w_{\text{inst,snow}} \cdot (1 + \psi_{2,\text{snow}} \cdot k_{\text{def}}) = 8,51 \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,6) = 9,53 \text{ mm}$$

Total slutlig nedböjning:

$$w_{\text{fin,tot}} = w_{\text{final,snow}} + w_{\text{final,perm}} = 9,53 + 3,71 = 13,24 \text{ mm}$$

b) Konstruktion med dragband av stål

Initialnedböjning förorsakad av permanent last:

$$w_{\text{inst,per}} = \frac{2 \cdot q_{\text{sl},1} \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}} \cdot \tan(\alpha)^2} \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}}}{E_{\text{steel}} \cdot A_{\text{tie}}} \right) = \frac{2 \cdot 3,58 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 13000 \cdot 140 \cdot 1035 \cdot \tan(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{13000 \cdot 140 \cdot 1035}{210000 \cdot 1145} \right) = 5,5 \text{ mm}$$

Slutlig nedböjning förorsakad av permanent last:

$$w_{\text{fin,per}} = \frac{2 \cdot q_{\text{sl},1} \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot E_{0,m,F} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}} \cdot \tan(\alpha)^2} \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{E_{0,m,F} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}}}{E_{\text{steel}} \cdot A_{\text{tie}}} \right) = \frac{2 \cdot 3,58 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 8125 \cdot 140 \cdot 1035 \cdot \tan(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{8125 \cdot 140 \cdot 1035}{210000 \cdot 1145} \right) = 6,0 \text{ mm}$$

där det slutliga medelvärdet för elasticitetsmodulen i fallet med permanenta laster är:

$$E_{0,m,F} = \frac{E_{0,m}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{13000}{1 + 0,6} = 8125 \text{ MPa}$$

Initialnedböjning förorsakad av snölast:

$$w_{\text{inst,s}} = \frac{(q_{\text{sl},2,l} + q_{\text{sl},2,r}) \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}} \cdot \tan(\alpha)^2} \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{E_{0,m} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}}}{E_{\text{steel}} \cdot A_{\text{tie}}} \right) = \frac{(14,75 + 11,44) \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 13000 \cdot 140 \cdot 1035 \cdot \tan(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{13000 \cdot 140 \cdot 1035}{210000 \cdot 1145} \right) = 20,2 \text{ mm}$$

Slutlig nedböjning förorsakad av snölast:

$$w_{\text{fin,s}} = \frac{(q_{\text{sl},2,l} + q_{\text{sl},2,r}) \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot E_{0,m,F} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}} \cdot \tan(\alpha)^2} \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{E_{0,m,F} \cdot b_{\text{raf}} \cdot h_{\text{raf}}}{E_{\text{steel}} \cdot A_{\text{tie}}} \right) = \frac{(14,75 + 11,44) \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 11607,1 \cdot 140 \cdot 1035 \cdot \tan(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + \frac{11607,1 \cdot 140 \cdot 1035}{210000 \cdot 1145} \right) = 23,7 \text{ mm}$$

där det slutliga medelvärdet för elasticitetsmodulen i fallet med snölast är:

$$E_{0,m,F} = \frac{E_{0,m}}{1 + k_{\text{def}} \cdot \psi_{2,\text{snow}}} = \frac{13000}{1 + 0,6 \cdot 0,2} = 11607,1 \text{ MPa}$$

Total slutlig nedböjning:

$$w_{\text{fin,tot}} = w_{\text{fin,per}} + w_{\text{fin,s}} = 5,98 + 23,71 = 29,7 \text{ mm}$$