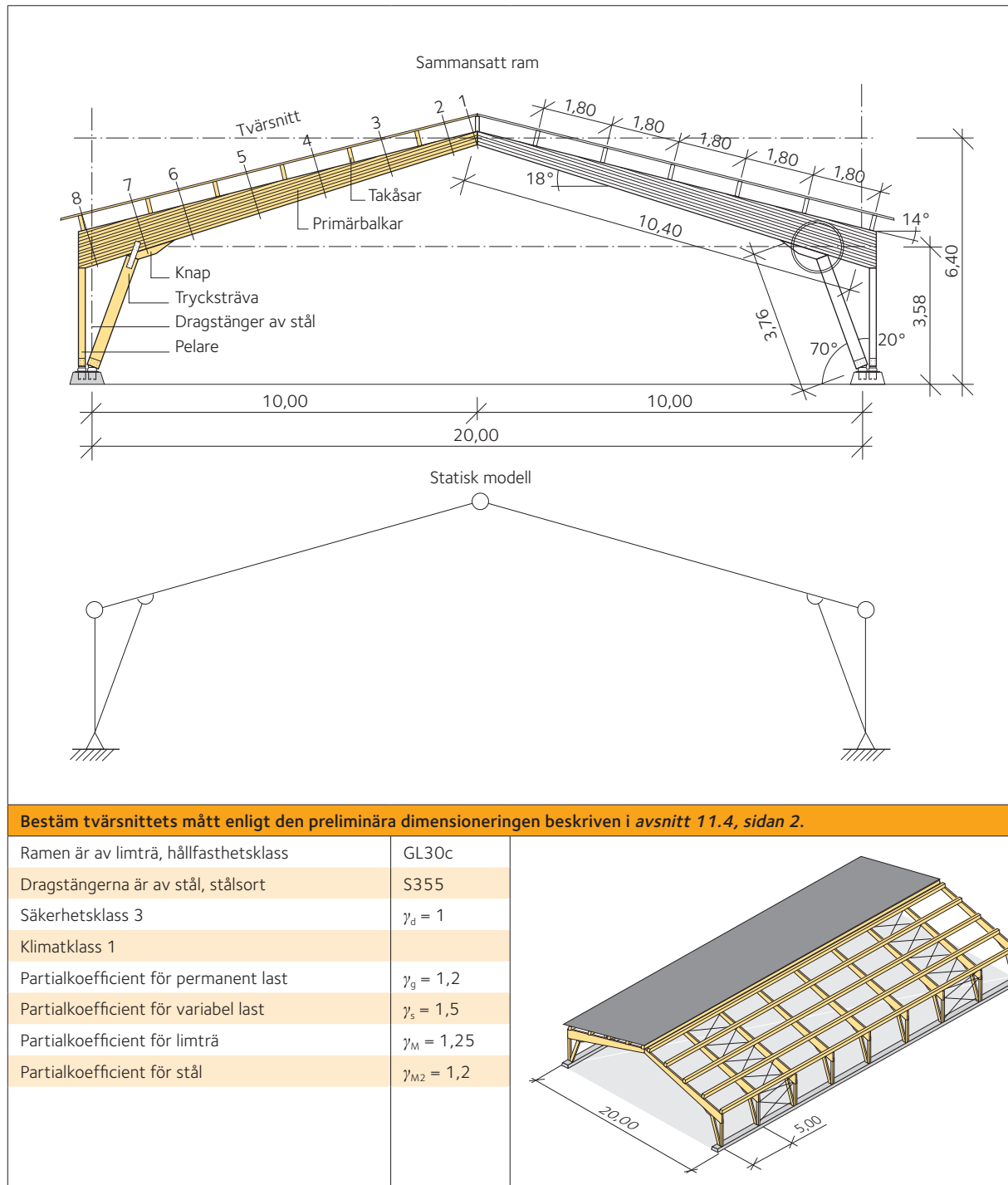


Exempel 11: Sammansatt ram

11.1 Konstruktion, mått och dimensioneringsunderlag

Dimensionera den sammansatta ramen enligt nedan.



11.2 Laster

Beakta följande laster vid dimensionering:

Limträramar

$$g_{k,1} = 0,76 \text{ kN/m}$$

Övrig permanent last

$$G_{k,2} = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k,2} = G_{k,2} \cdot i \cdot 1,1 = 0,7 \cdot 5 \cdot 1,1 = 3,85 \text{ kN/m}$$

Snölast

$$S_k = 2,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{Läsida } s_{k,l} = S_k \cdot i \cdot \mu \cdot 1,1 = 2,0 \cdot 5 \cdot 1,01 \cdot 1,1 = 11,1 \text{ kN/m}$$

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

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

11.3 Lastkombinationer

Beakta tre lastkombinationer (SS-EN 1990, avsnitt 6.4.3):

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

$$q_{dl} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2})] = 1 \cdot 1,2 \cdot (0,76 + 3,85) = 5,53 \text{ kN/m}$$

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

$$\text{Läsida } q_{dIIA,l} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,l}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,76 + 3,85) + 1,5 \cdot 11,1] = 22,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lovartsida } q_{dIIA,r} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,r}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,76 + 3,85) + 1,5 \cdot 8,8] = 18,7 \text{ kN/m}$$

Kombination 3 (egentyngd + osymmetrisk snölast; här givet det mindre värdet, medellång last, $k_{\text{mod}} = 0,8$):

$$q_{dIIb,r} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + 0,5\gamma_s \cdot s_{k,r}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (0,76 + 3,85) + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 8,8] = 12,13 \text{ kN/m}$$

11.4 Preliminär dimensionering

Utför preliminär dimensionering enligt rekommendationerna i *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 10*:

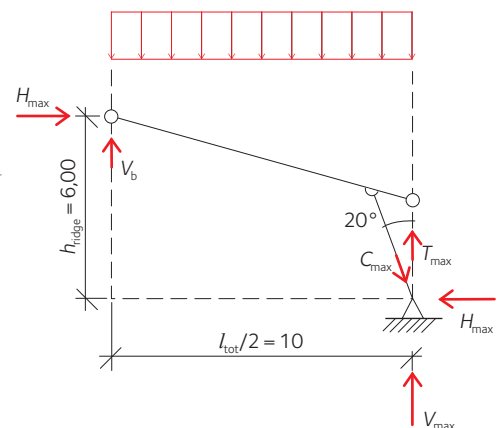
$$V_{\text{max}} = \frac{(3 \cdot q_{dIIA,l} + q_{dIIA,r}) \cdot l_{\text{tot}}}{8} = \frac{(3 \cdot 22,2 + 18,7) \cdot 20}{8} = 213,30 \text{ kN}$$

$$H_{\text{max}} = \frac{(q_{dIIA,l} + q_{dIIA,r}) \cdot l_{\text{tot}}^2}{16 \cdot f} = \frac{(22,2 + 18,7) \cdot 20^2}{16 \cdot 6} = 170,54 \text{ kN}$$

$$C_{\text{max}} = \frac{H_{\text{max}}}{\cos(70^\circ)} = \frac{170,54}{\cos(70^\circ)} = 498,62 \text{ kN}$$

$$T_{\text{max}} = C_{\text{max}} \cdot \cos(20^\circ) - V_{\text{max}} = 498,62 \cdot \cos(20^\circ) - 213,30 = 255,24 \text{ kN}$$

$$V_b = \frac{(q_{dIIA,l} - q_{dIIA,r}) \cdot l_{\text{tot}}}{8} = \frac{(22,2 - 18,7) \cdot 20}{8} = 8,66 \text{ kN}$$



Balkens tvärsnitt:

$$h_{\text{support}} = \frac{S_1 + S_2}{15} = \frac{10,41 \cdot 10^3 + 3,58 \cdot 10^3}{15} = 932,67 \text{ mm} \rightarrow h_{\text{support}} = 950 \text{ mm}$$

$$h_{\text{ridge}} = 0,3 \cdot h_{\text{support}} = 0,3 \cdot 950 = 285 \text{ mm} \rightarrow h_{\text{ridge}} = 318 \text{ mm}$$

$$b = \frac{h_{\text{support}}}{5} = \frac{950}{5} = 190 \text{ mm} \rightarrow b = 190 \text{ mm}$$

Rambenets tvärsnitt:

$$b = 190 \text{ mm}$$

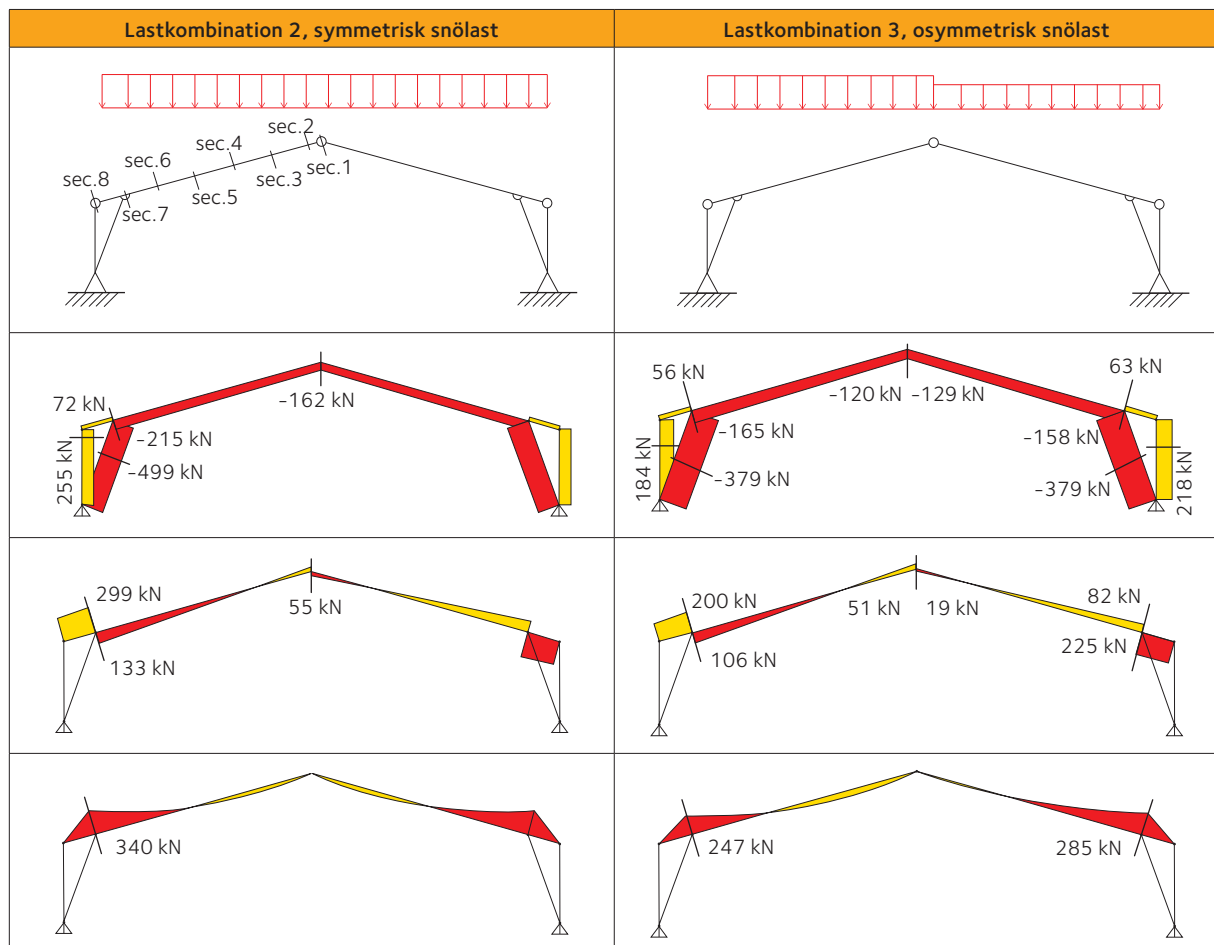
$$h = \frac{C_{\text{max}}}{k_r \cdot b \cdot f_{c,0,d}} = \frac{498,62 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 190 \cdot 15,68} = 239,1 \text{ mm} \rightarrow h = 315 \text{ mm}$$

Faktorn k_r beaktar förminskning av bärförmåga som förorsakas av eventuell knäckning.

Dragstängernas tvärsnitt (dragstängerna består av två likadana stålstänger bredvid varandra):

$$A_{\text{net,min}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{\text{max}}}{0,9 \cdot \frac{f_{\text{uk}}}{\lambda_{M2}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{255,24 \cdot 10^3}{0,9 \cdot \frac{510}{1,2}} = 333,65 \text{ mm}^2 \rightarrow A = 452 \text{ mm}^2 \quad A_{\text{net}} = 353 \text{ mm}^2$$

11.5 Inre krafter och moment



11.6 Beräkningar av överramarna i brottgränstillstånd

a) Tryck parallellt med fibrerna

Kombination 2 är dimensionerande. Tvärsnittet med den största påkänningen är vid ramens nock (tvärsnitt 1, 190 × 318 mm):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{161 \cdot 10^3}{190 \cdot 318} = 2,67 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för tryckspänning parallellt med fibrerna (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.2):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{2,67}{15,68} = 0,17 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

b) Skjuvning

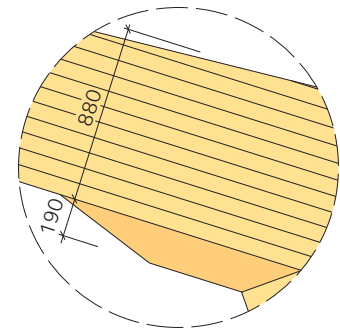
Kombination 2 är dimensionerande. Tvärsnittet med den största påkänningen är tvärsnitt 7, 190 × (880 + 190) mm:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2b \cdot h} = \frac{3 \cdot 299 \cdot 10^3}{2 \cdot 190 \cdot (880 + 190)} = 2,2 \text{ MPa}$$

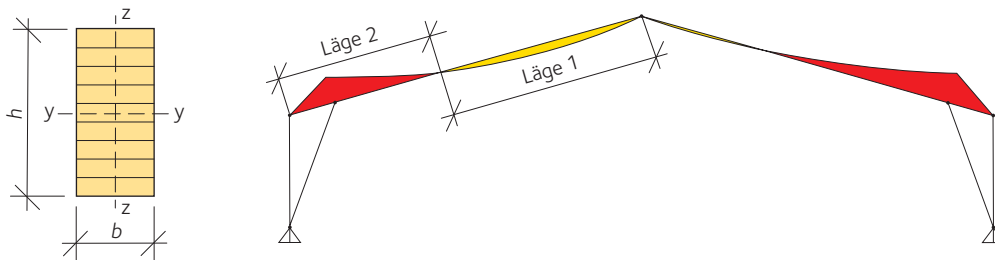
Kontrollera villkoret för skjuvspänning (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.13):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d} \cdot k_{cr}} = \frac{2,2}{2,24 \cdot 0,86} = 1,15 > 1 \quad \mathbf{EJ OK}$$

Villkoret uppfylls inte, öka dimensionen till 190 × 1 040 eller 215 × 900.



c) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck (kombination 2)



Balken är stagad i sidled. Avståndet mellan stagpunkterna är 1,80 m. Två olika zoner med olika knäcklängder kan urskiljas, nämligen:

- Läge 1, övre kanten av balken är tryckt
- Läge 2, nedre kanten av balken är tryckt

Anta att balkens höjd är konstant mellan två stagpunkter.

Kontrollera tvärsnitten 2, 3, 4 och 7. Dimensioneringsvärdena för normalkrafter och böjmoment ges i tabellen nedan:

Tvärsnitt	Tvärsnittets mått [mm]	Normalkraft N_d [kN]	Böjmoment M_d [kNm]
2	190 × 357	-164	24
3	190 × 460	-175	68
4	190 × 571	-185	49
7	190 × 880	-216	340

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

Tvär-snitt	Knäcklängd, $l_{0,z}$ [mm]	Kritisk böjspänning, $\sigma_{cr,z}$ [MPa]	Relativt slankhetstal, λ_{rel}	Reduktionsfaktor vid knäckning, $k_{c,z}$	Utnyttjandegrad $\frac{N_d}{A \cdot k_{c,z} \cdot f_{cd}} + \frac{M_d}{W \cdot f_{md}}$
2	$l_{0,z,2} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,2} = 98,97$	$\lambda_{rel,z,2} = 0,5$	$k_{c,z,2} = 0,97$	$R_2 = 0,46$
3	$l_{0,z,3} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,3} = 98,97$	$\lambda_{rel,z,3} = 0,5$	$k_{c,z,3} = 0,97$	$R_3 = 0,66$
4	$l_{0,z,4} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,4} = 98,97$	$\lambda_{rel,z,4} = 0,5$	$k_{c,z,4} = 0,97$	$R_4 = 0,36$

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

Tvär-snitt	Effektiv längd, $l_{0,z}$ [mm]	Kritisk böjspänning, $\sigma_{cr,m}$ [MPa]	Relativt slankhetstal, λ_{rel}	Reduktionsfaktor vid vippning, k_{crit}	Utnyttjandegrad $\left(\frac{M_d}{W \cdot k_{crit} \cdot f_{md}}\right)^2 + \frac{N_d}{A \cdot k_{c,z} \cdot f_{cd}}$
2	$l_{0,z,2} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,2} = 427$	$\lambda_{rel,m,2} = 0,27$	$k_{crit,2} = 1$	$R_2 = 0,25$
3	$l_{0,z,3} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,2} = 427$	$\lambda_{rel,m,3} = 0,3$	$k_{crit,3} = 1$	$R_3 = 0,41$
4	$l_{0,z,4} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,2} = 427$	$\lambda_{rel,m,4} = 0,34$	$k_{crit,4} = 1$	$R_4 = 0,17$
7	$l_{0,z,7} = 5,5$	$\sigma_{cr,m,2} = 427$	$\lambda_{rel,m,7} = 0,72$	$k_{crit,7} = 1$	$R_7 = 0,61$

11.7 Ramben

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{498,62 \cdot 10^3}{315 \cdot 190} = 8,33 \text{ MPa}$$

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

$$l_{0,z} = 3,76 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{(b \cdot h) \cdot l_{0,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{315 \cdot 190^3}{12}}{315 \cdot 190 \cdot (3,76 \cdot 10^3)^2} = 22,68 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

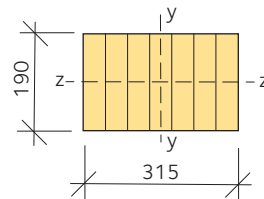
$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{22,68}} = 1,04$$

Faktor k:

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,04 - 0,3) + 1,04^2 \right] = 1,08$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 1,04^2}} = 0,74$$



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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{8,33}{0,74 \cdot 15,68} = 0,72 < 1 \quad \text{OK}$$

11.8 Dragstänger av stål

Använd stålstänger med diameter $d = 24 \text{ mm}$ ($A_{\text{net}} = 353 \text{ mm}^2$). Använd dimensioneringsreglerna för skruvar eftersom dragbandens ändrar är gängade:

$$T_{\text{Ed}} = 255,24 \text{ kN}$$

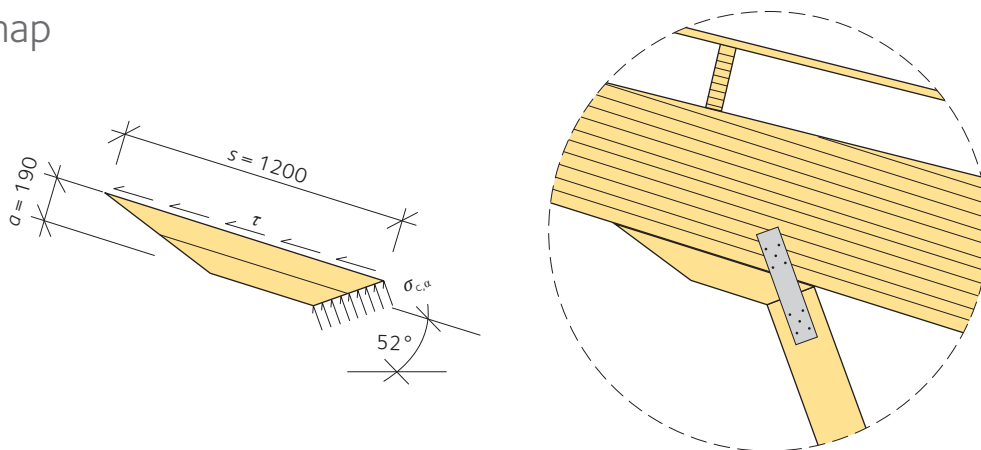
Bestäm bärförmågan (SS-EN 1993-1-8, tabell 3.4):

$$T_{\text{Rd}} = 2 \cdot \frac{A_{\text{net}} \cdot f_{\text{uk}} \cdot k_2}{\gamma_{\text{M2}}} \cdot 10^{-3} = 2 \cdot \frac{353 \cdot 510 \cdot 0,9}{1,2} \cdot 10^{-3} = 270,05 \text{ kN}$$

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

$$\frac{T_{\text{Ed}}}{T_{\text{Rd}}} = \frac{255,24}{270,05} = 0,95 < 1 \quad \text{OK}$$

11.9 Knap



a) Tryck i en vinkel α mot fibrerna

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b \cdot a} \cdot \cos(\alpha) = \frac{498,62 \cdot 10^3}{315 \cdot 190} \cdot \cos(52^\circ) = 5,13 \text{ MPa}$$

Tryckhållfasthet i en vinkel α mot fibrerna:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{1,75 \cdot f_{c,90,k}} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = \frac{15,68}{\frac{15,68}{1,75 \cdot 2,5} \cdot \sin(52^\circ)^2 + \cos(52^\circ)^2} = 6,02 \text{ MPa}$$

$f_{c,90,d}$ 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.

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

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{5,13}{6,02} = 0,85 < 1 \quad \text{OK}$$

b) Skjuvning

$$\tau = \frac{N_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha)}{b \cdot s} = \frac{498,62 \cdot 10^3 \cdot \cos(52^\circ)}{315 \cdot 1200} = 0,81 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för skjuvspänning, se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 10.5.3*:

$$\frac{\tau}{0,5 \cdot f_{v,d}} = \frac{0,81}{0,5 \cdot 2,24} = 0,73 < 1 \quad \text{OK}$$

c) Geometriska villkor

Se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 10.5.3*.

Knapens längd:

$$s = 1200 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$s = 1200 \text{ mm} < 8 \cdot a = 1520 \text{ mm}$$

Förhållandet mellan längd och höjd:

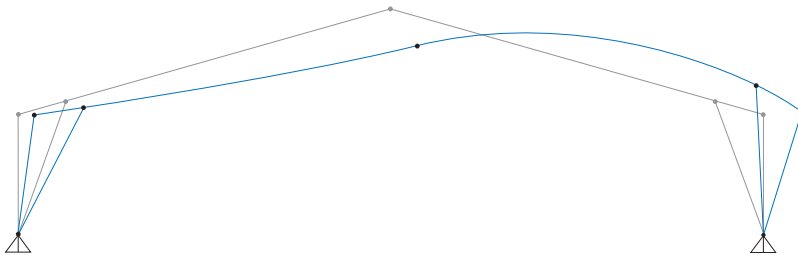
$$\frac{s}{a} = 6,32 > 6 \quad \text{OK}$$

11.10 Stabilitetskontroll i ramens plan för samtidig böjning och tryck

Kombination 2 är dimensionerande. Tvärsnittet med den största påkänningen är tvärsnitt 7, 190 × 880 mm:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{216 \cdot 10^3}{b \cdot h} = \frac{216 \cdot 10^3}{190 \cdot 880} = 1,29 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} = \frac{340 \cdot 10^6}{b \cdot \frac{h^2}{6}} = \frac{340 \cdot 10^6}{190 \cdot \frac{880^2}{6}} = 13,87 \text{ MPa}$$

Motsvarande knäckningsmodell visas nedan.



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

Bestäm den kritiska normalkraften med hjälp av Finita elementmetoden.

Kritisk normalkraft:

$$N_{cr} = 2587,2 \text{ kN}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\frac{N_{cr}}{A}}} = \sqrt{\frac{24,5}{\frac{2587,2 \cdot 10^3}{167200}}} = 1,26$$

Faktor k :

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,26 - 0,3) + 1,26^2 \right] = 1,34$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,34 + \sqrt{1,34^2 - 1,26^2}} = 0,56$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,29}{0,56 \cdot 15,68} + \frac{13,87}{19,2} = 0,87 < 1 \quad \text{OK}$$