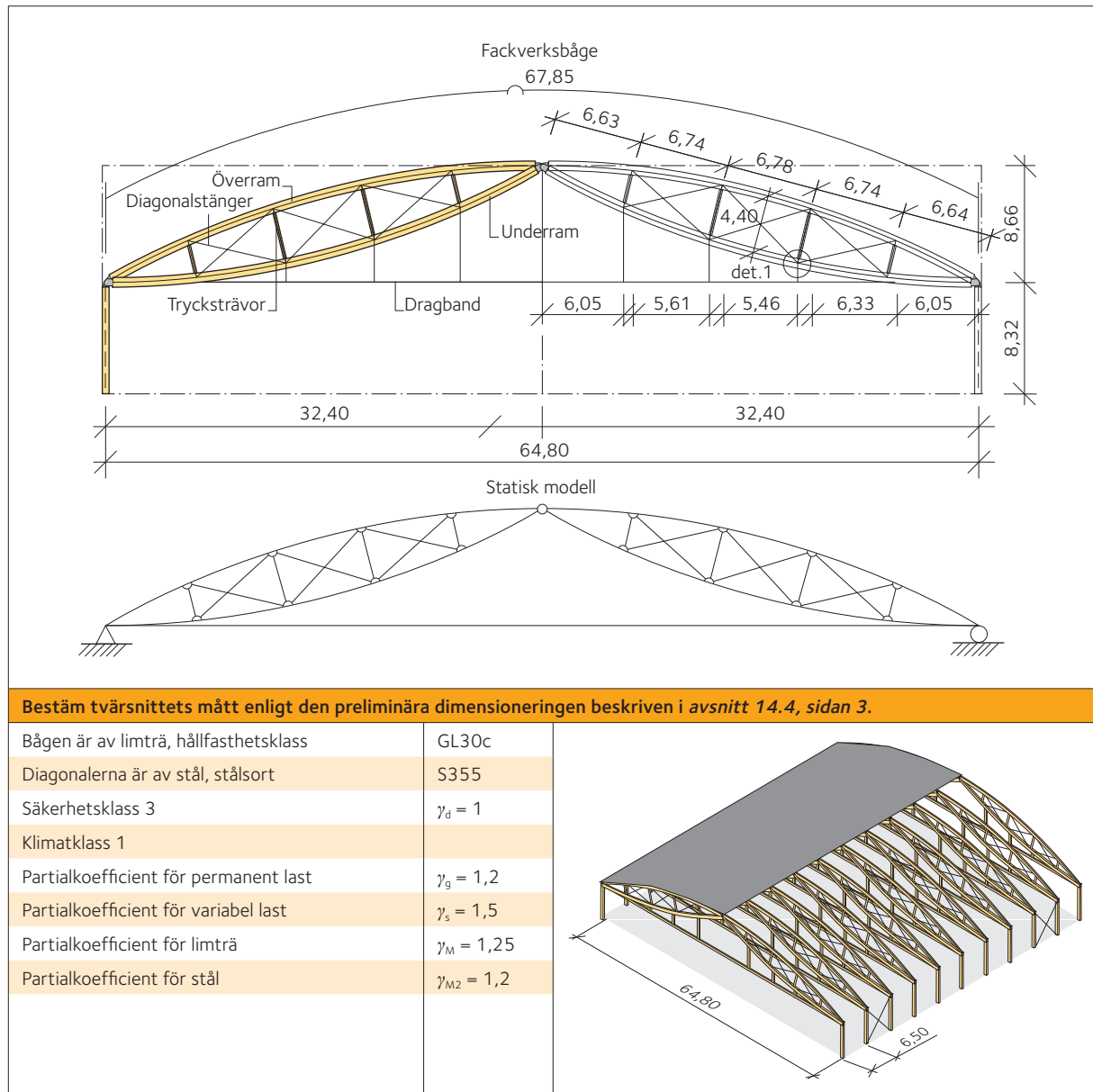


Exempel 14: Fackverksbåge

14.1 Konstruktion, mått och dimensioneringsunderlag

Dimensionera fackverksbågen enligt nedan.



14.2 Laster

Använd följande formfaktorer för snölast (SS-EN 1991-1-3, avsnitt 6.3.8):

$$\mu_2 = 0,8$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{h_{\text{ridge}}}{l_{\text{tot}}} = 0,2 + 10 \cdot \frac{8,66}{64,81} = 1,54$$

Beakta följande laster vid dimensionering:

Limträbalkar

$$g_{k,1} = 1,85 \text{ kN/m}$$

Övrig permanent last

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

$$g_{k,2} = G_{k,2} \cdot i \cdot 1,1 = 0,7 \cdot 6,5 \cdot 1,1 = 5 \text{ kN/m}$$

Symmetrisk snölast

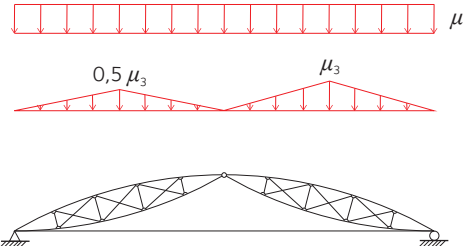
$$S_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,s} = S_k \cdot i \cdot \mu_2 \cdot 1,1 = 2,0 \cdot 6,5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 11,44 \text{ kN/m}$$

Osymmetrisk snölast

$$s_{k,u} = S_k \cdot i \cdot \mu_3 \cdot 1,1 = 2 \cdot 6,5 \cdot 1,54 \cdot 1,1 = 21,97 \text{ kN/m}$$

Faktorn 1,1 i ekvationerna ovan beaktar att sekundärbalkarna är kontinuerliga över primärbalkarna. Det förutsätts i detta exempel att snörasskydd saknas.

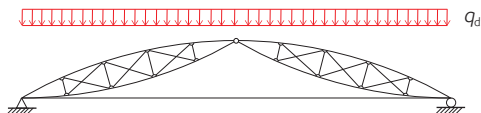


14.3 Lastkombinationer

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

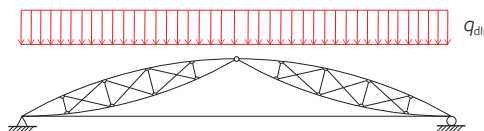
Kombination 1 (egentyngd, permanent last, $k_{\text{mod}} = 0,6$):

$$q_{dI} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2})] = 1 \cdot 1,2 \cdot (1,85 + 5) = 8,23 \text{ kN/m}$$



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

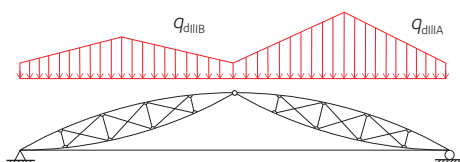
$$q_{dII} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,s}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (1,85 + 5) + 1,5 \cdot 11,44] = 25,39 \text{ kN/m}$$



Kombination 3 (egentyngd + osymmetrisk snölast, medellång last, $k_{\text{mod}} = 0,8$):

$$q_{dIII A} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_{k,u}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (1,85 + 5) + 1,5 \cdot 21,97] = 41,18 \text{ kN/m}$$

$$q_{dIII B} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot 0,5 \cdot s_{k,u}] = 1 \cdot [1,2 \cdot (1,85 + 5) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 21,97] = 24,7 \text{ kN/m}$$



14.4 Preliminär dimensionering

Utför preliminär dimensionering enligt rekommendationerna i *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 8.2*.

Överram:

$$h = \frac{\Delta}{7} = \frac{4400}{7} = 628,57 \text{ mm} \rightarrow h = 630 \text{ mm}$$

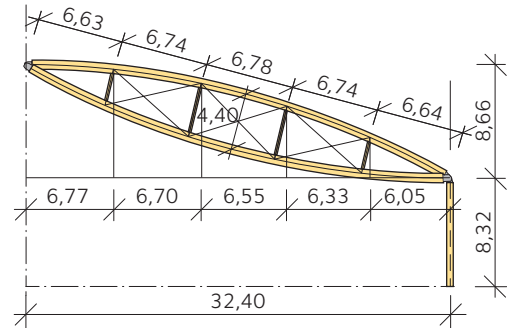
$$b = \frac{h}{3} = \frac{630}{3} = 210 \text{ mm} \rightarrow b = 215 \text{ mm}$$

Dragband av stål (består av åtta separata stålstänger):

$$N_{\max} = \frac{q_{\text{all}} \cdot l_{\text{tot}}}{8 \cdot h_{\text{ridge}}} = \frac{25,39 \cdot 64,80^2}{8 \cdot 8,66} = 1539,11 \text{ kN}$$

$$A_{\min} = \frac{1}{\text{num}} \cdot \frac{N_{\max} \cdot \gamma_{M2}}{0,9 \cdot f_{\text{uk}}} = \frac{1}{8} \cdot \frac{1539,11 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 510} = 502,98 \text{ mm}^2$$

\rightarrow dragband av stål M30 väljs; $A_s = 561 \text{ mm}^2$



14.5 Inre krafter och moment

Kombination 2, symmetrisk snölast	Kombination 3, osymmetrisk snölast
<p>Normalkraft</p>	<p>Normalkraft</p>
<p>Tvärkraft</p>	<p>Tvärkraft</p>
<p>Böjmoment</p>	<p>Böjmoment</p>

14.6 Beräkningar i brottgränstillstånd, överram

a) Tryck parallellt med fibrerna vid upplag

Kombination 2 är dimensionerande:

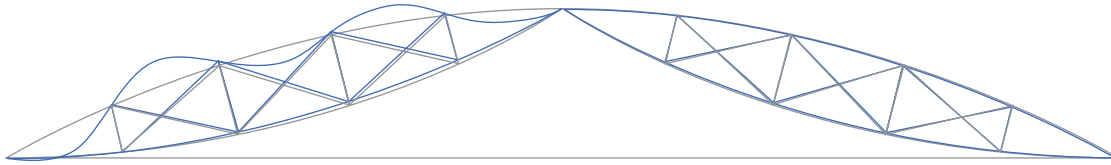
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b \cdot h} = \frac{1653 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 12,2 \text{ MPa}$$

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

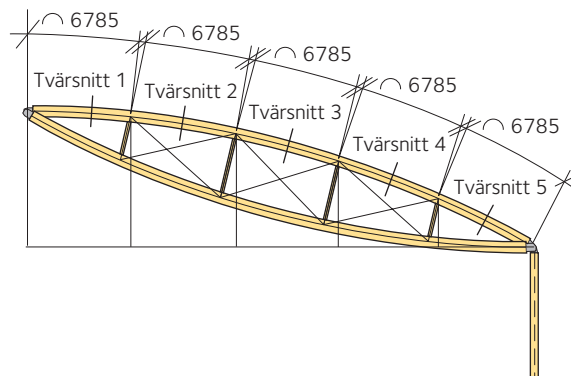
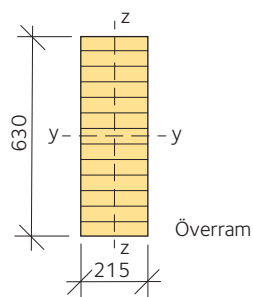
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = 0,78 < 1 \quad \text{OK}$$

b) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck

Kombinationerna 2 och 3 ger samma knäcklast. Motsvarande första knäckningsmodell visas nedan.



Överramens övre kant är helt och hållet stagad med styv korrugerad stålplåt. Sålunda är vippning av fackverksbågen inte möjlig. Kontrollera tvärsnitten 1, 2 och 4.



Tvärsnitt 1:

$$\sigma_{c,0,d,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot h} = \frac{1487 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 10,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d,1} = \frac{6M_{Ed,1}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 22 \cdot 10^6}{215 \cdot 630^2} = 1,55 \text{ MPa}$$

Tvärsnitt 2:

$$\sigma_{c,0,d,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot h} = \frac{1490 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d,2} = \frac{6M_{Ed,2}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 24 \cdot 10^6}{215 \cdot 630^2} = 1,69 \text{ MPa}$$

Tvärsnitt 4:

$$\sigma_{c,0,d,4} = \frac{N_{Ed,4}}{b \cdot h} = \frac{1546 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 11,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d,4} = \frac{6M_{Ed,4}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 17 \cdot 10^6}{215 \cdot 630^2} = 1,2 \text{ MPa}$$

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

Knäcklängd:

$$l_{0,y} = 6,78 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_y}{(b \cdot h) \cdot l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{215 \cdot 630^3}{12}}{215 \cdot 630 \cdot (6,78 \cdot 10^3)^2} = 76,69 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{24,5}{76,69}} = 0,57$$

Faktor k:

$$k_y = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (0,57 - 0,3) + 0,57^2 \right] = 0,67$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,57^2}} = 0,96$$

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

Tvärsnitt 1:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,1}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,1}}{f_{m,d}} = \frac{10,98}{0,96 \cdot 15,68} + \frac{1,55}{19,2} = 0,81 < 1 \quad \text{OK}$$

Tvärsnitt 2:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,2}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,2}}{f_{m,d}} = \frac{11}{0,96 \cdot 15,68} + \frac{1,69}{19,2} = 0,82 < 1 \quad \text{OK}$$

Tvärsnitt 4:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,4}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,4}}{f_{m,d}} = \frac{11,41}{0,96 \cdot 15,68} + \frac{1,2}{19,2} = 0,82 < 1 \quad \text{OK}$$

c) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck, kombination 3

Kontrollera tvärsnitten 3 och 5:

Tvärsnitt 3:

$$\sigma_{c,0,d,3} = \frac{N_{Ed,3}}{b \cdot h} = \frac{1477 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 10,9 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d,3} = \frac{6M_{Ed,3}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 65 \cdot 10^6}{215 \cdot 630^2} = 4,57 \text{ MPa}$$

Tvärsnitt 5:

$$\sigma_{c,0,d,5} = \frac{N_{Ed,5}}{b \cdot h} = \frac{1506 \cdot 10^3}{215 \cdot 630} = 11,12 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d,5} = \frac{6M_{Ed,5}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 51 \cdot 10^6}{215 \cdot 630^2} = 3,59 \text{ MPa}$$

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

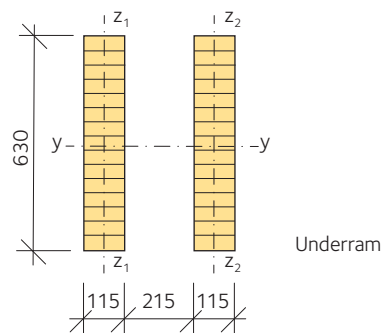
Tvärsnitt 3:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,3}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,3}}{f_{m,d}} = \frac{10,9}{0,96 \cdot 15,68} + \frac{4,57}{19,2} = 0,96 < 1 \quad \text{OK}$$

Tvärsnitt 5:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,5}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,5}}{f_{m,d}} = \frac{11,12}{0,96 \cdot 15,68} + \frac{3,59}{19,2} = 0,92 < 1 \quad \text{OK}$$

14.7 Underram



a) Samtidigt verkande böjmoment och dragning

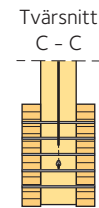
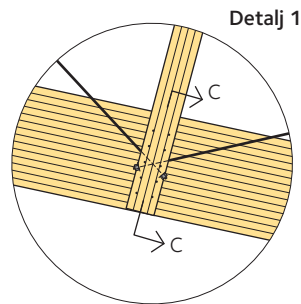
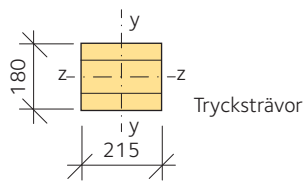
Kombination 3 är dimensionerande:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{255 \cdot 10^3}{115 \cdot 630} = 1,76 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{Ed}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 50 \cdot 10^6}{115 \cdot 630^2} = 3,29 \text{ MPa}$$

Kontrollera villkoret för samtidigt verkande böjmoment och dragning (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.17):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,76}{12,48} + \frac{3,29}{19,2} = 0,31 < 1 \quad \text{OK}$$

14.8 Trycksträvorna



a) Böjknäckning

Kombination 3 är dimensionerande:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{28 \cdot 10^3}{180 \cdot 215} = 0,72 \text{ MPa}$$

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

Knäcklängd:

$$l_{0,z} = 4,4 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{(b \cdot h) \cdot l_{0,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{180^3 \cdot 215}{12}}{180 \cdot 215 \cdot (4,4 \cdot 10^3)^2} = 14,87 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{14,87}} = 1,28$$

Faktor k:

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,28 - 0,3) + 1,28^2 \right] = 1,37$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,37 + \sqrt{1,37^2 - 1,28^2}} = 0,54$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,72}{0,54 \cdot 15,68} = 0,09 < 1 \quad \text{OK}$$

14.9 Dragband av stål

Kombination 2 är dimensionerande.

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

$$T_{Rd} = \frac{A_s \cdot f_{uk} \cdot 0,9}{\gamma_{M2}} = \frac{561 \cdot 510 \cdot 0,9}{1,2} = 214582,5 \text{ N}$$

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

$$\frac{T_{Ed}}{num \cdot T_{Rd}} = \frac{1513}{8 \cdot 214,58} = 0,88 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

Förbandets bärförmåga beräknas inte i exemplet. Beräkningen ska utföras enligt SS-EN 1995-1-1.

14.10 Diagonalstänger

Använd diagonalstagnung med stålstänger M16, stålsort S355.

Kombination 3 är dimensionerande.

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

$$T_{Rd} = \frac{A_s \cdot f_{uk} \cdot 0,9}{\gamma_{M2}} = \frac{157 \cdot 510 \cdot 0,9}{1,2} = 60052 \text{ N}$$

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

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{40}{60,05} = 0,67 < 1 \quad \mathbf{OK}$$