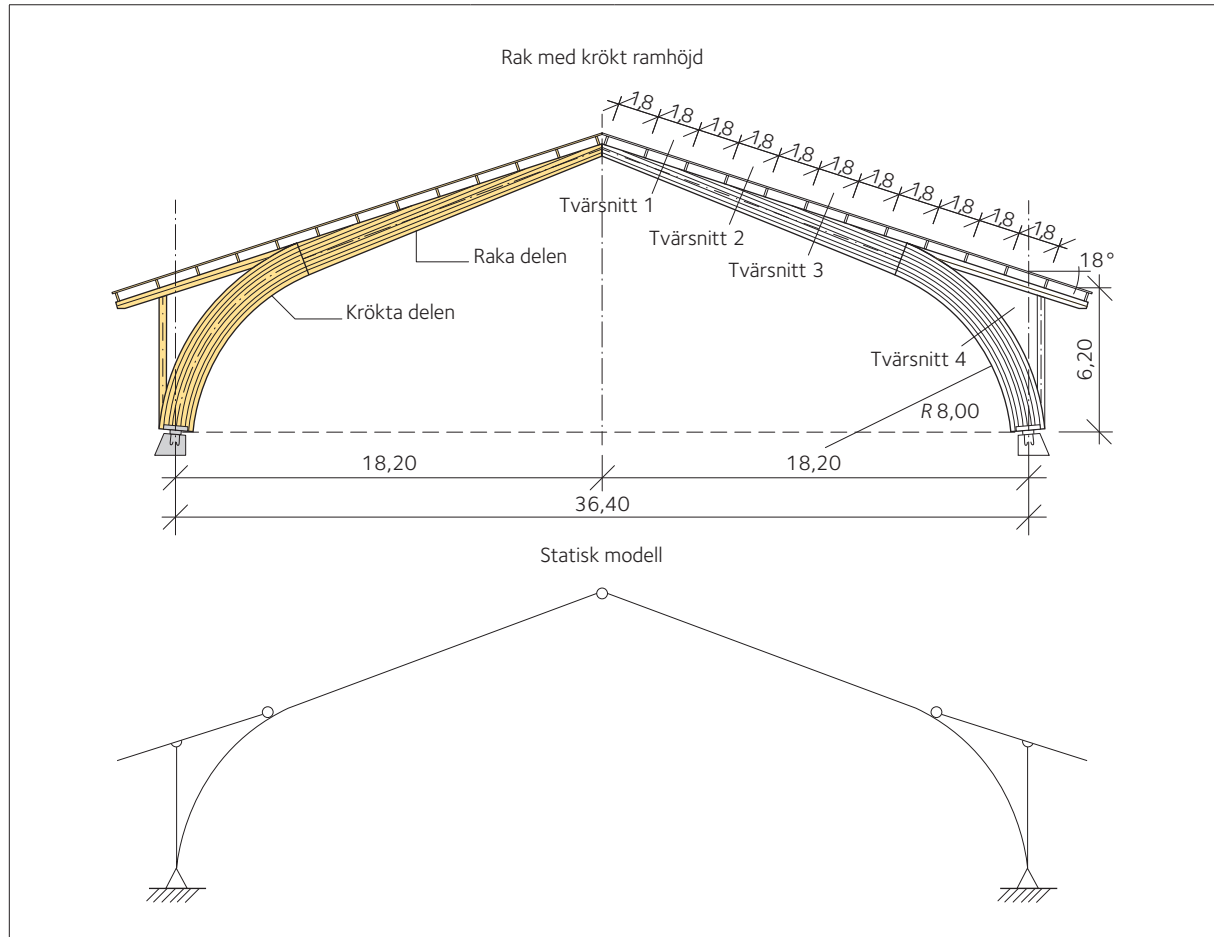


## Exempel 10: Ram med krökt ramhörn

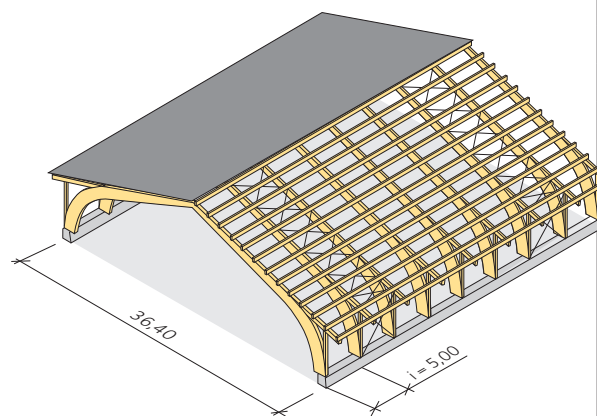
### 10.1 Konstruktion, mått och dimensioneringsunderlag

Dimensionera ramen med krökt ramhörn enligt nedan.



Bestäm tvärsnittets mått enligt den preliminära dimensioneringen beskriven i avsnitt 10.4, sidan 2.

Ramen är av limträ, hållfasthetsklass	GL30c
Lamelltjocklek	$t_{\text{lam}} = 33 \text{ mm}$
Säkerhetsklass 3	$\gamma_d = 1$
Klimatklass 1	
Partialkoefficient för permanent last	$\gamma_g = 1,2$
Partialkoefficient för variabel last	$\gamma_s = 1,5$
Partialkoefficient för limträ	$\gamma_M = 1,25$



## 10.2 Laster

Beakta följande laster vid dimensionering:

Limträramar

$$g_{k,1} = 2,3 \text{ kN/m}$$

Övrig permanent last

$$G_{k,2} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k,2} = G_{k,2} \cdot i \cdot 1,1 = 0,6 \cdot 5 \cdot 1,1 = 3,3 \text{ kN/m}$$

Snölast

$$S_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k = S_k \cdot i \cdot \mu \cdot 1,1 = 1,5 \cdot 5 \cdot 1,07 \cdot 1,1 = 8,8 \text{ kN/m}$$

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

## 10.3 Lastkombinationer

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

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

$$q_{\text{dl}} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2})] = 1 \cdot 1,2 \cdot (2,3 + 3,3) = 6,72 \text{ kN/m}$$

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

$$q_{\text{dlIA}} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + \gamma_s \cdot s_k] = 1 \cdot [1,2 \cdot (2,3 + 3,3) + 1,5 \cdot 8,8] = 19,96 \text{ kN/m}$$

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

$$q_{\text{dlIB}} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) + 0,5\gamma_s \cdot s_k] = 1 \cdot [1,2 \cdot (2,3 + 3,3) + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 8,8] = 11,67 \text{ kN/m}$$

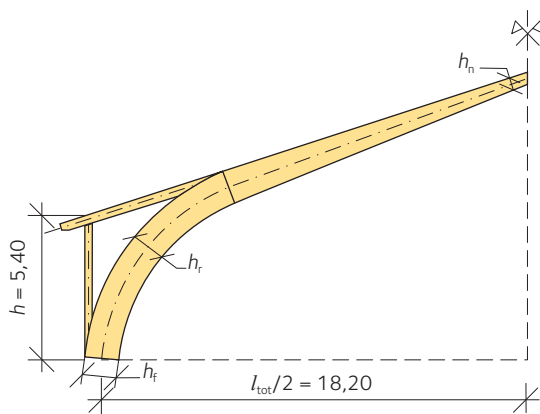
## 10.4 Preliminär dimensionering

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

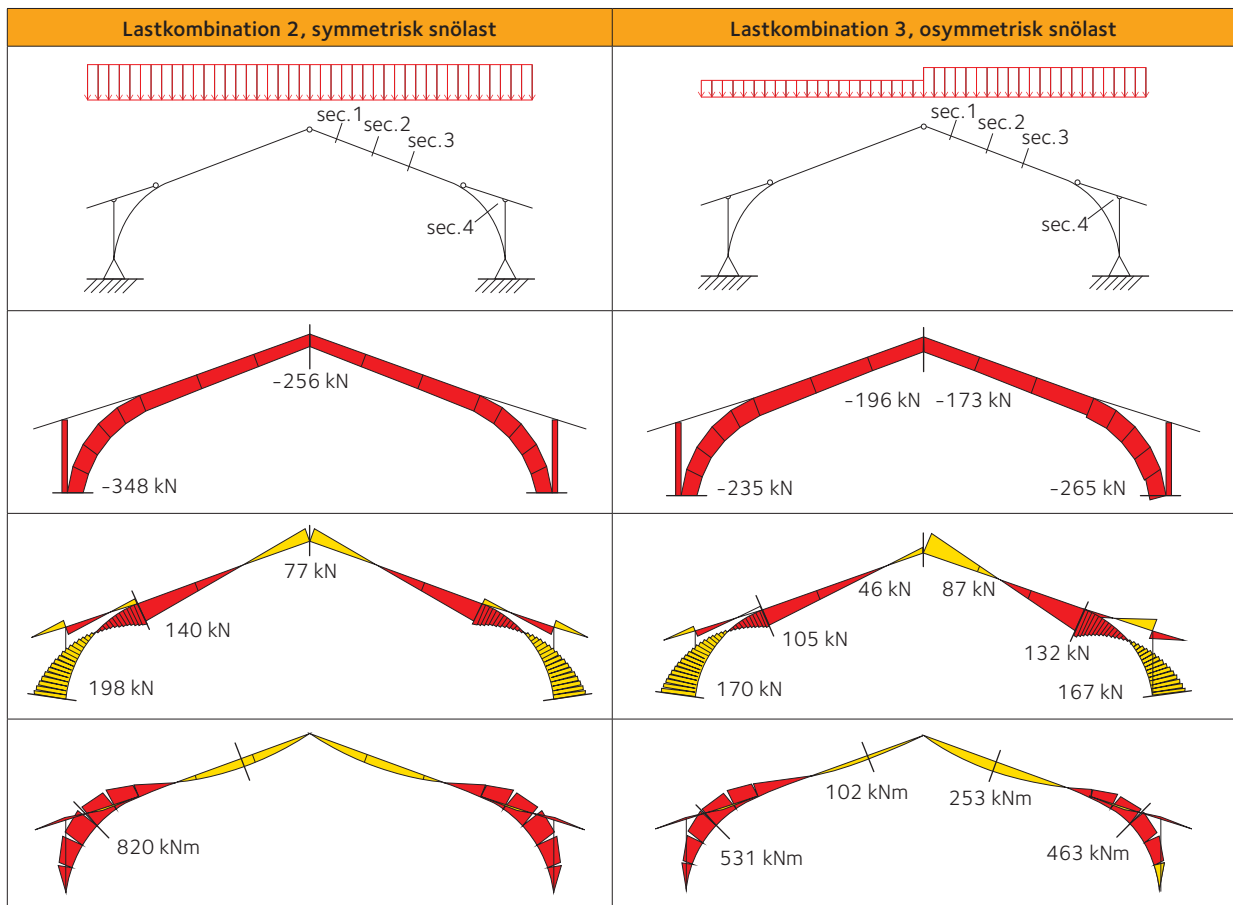
$$h_{r,\text{min}} = \frac{H}{15} + \frac{l_{\text{tot}}}{30} = \frac{5,4}{15} + \frac{36,4}{30} = 1,57 \text{ m} \quad \rightarrow \quad h_r = 1530 \text{ mm} \quad h_f = 1530 \text{ mm}$$

$$h_{n,\text{min}} = 0,3 \cdot h_{r,\text{min}} = 0,3 \cdot 1,57 = 0,47 \text{ m} \quad \rightarrow \quad h_n = 495 \text{ mm}$$

$$b_{\text{min}} = 0,15 \cdot h_{r,\text{min}} = 0,15 \cdot 1,57 = 0,24 \text{ m} \quad \rightarrow \quad b = 215 \text{ mm}$$



## 10.5 Inre krafter och moment



## 10.6 Beräkningar i brottgränstillstånd

a) Tryck parallellt fibrerna vid upplag

Kombination 2 är dimensionerande:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h_f} = \frac{348 \cdot 10^3}{215 \cdot 1530} = 1,06 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1,06}{15,68} = 0,07 < 1 \quad \text{OK}$$

b) Tryck parallellt med fibrerna vid ramens nock

Kombination 2 är dimensionerande:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h_n} = \frac{256 \cdot 10^3}{215 \cdot 495} = 2,40 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{2,40}{15,68} = 0,15 < 1 \quad \text{OK}$$

c) Skjuvning vid upplag

Kombination 2 är dimensionerande:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2b \cdot h_f} = \frac{3 \cdot 198 \cdot 10^3}{2 \cdot 215 \cdot 1530} = 0,9 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d} \cdot k_{cr}} = \frac{0,9}{2,24 \cdot 0,86} = 0,47 < 1 \text{ OK}$$

d) Skjuvning vid ramens nock

Kombination 3 är dimensionerande:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2b \cdot h_n} = \frac{3 \cdot 87 \cdot 10^3}{2 \cdot 215 \cdot 495} = 1,23 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d} \cdot k_{cr}} = \frac{1,23}{2,24 \cdot 0,86} = 0,64 < 1 \text{ OK}$$

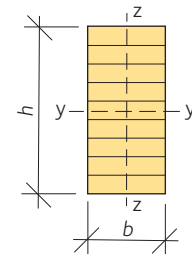
e) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck i de raka partierna (kombination 3)

Ramen är stagad i sidled. Avståndet mellan stagpunkterna är 1,80 m.

Kontrollera tvärsnitten 1, 2 och 3.

Dimensioneringsvärdena för normalkrafter och böjmoment ges i tabellen nedan.

Tvär-snitt	Tvärsnittets mått [mm]	Normalkraft $N_d$ [kN]	Böjmoment $M_d$ [kNm]
1	215 × 670	-253	168
2	215 × 925	-263	218
3	215 × 1175	-274	210



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

Tvär-snitt	Effektiv vippningslängd, $l_{0,z}$ [mm]	Kritisk böjspänning, $\sigma_{cr,z}$ [MPa]	Relativt slankhetstal, $\lambda_{rel}$	Reduktionsfaktor vid vippning, $k_{c,z}$	Utnyttjandegrad $\frac{N_d}{A \cdot k_{c,z} \cdot f_{cd}} + \frac{M_{yd}}{W \cdot f_{myd}}$
1	$l_{0,z,1} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,1} = 126,73$	$\lambda_{rel,z,1} = 0,44$	$k_{c,z,1} = 0,98$	$R_1 = 0,66$
2	$l_{0,z,2} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,2} = 126,73$	$\lambda_{rel,z,2} = 0,44$	$k_{c,z,2} = 0,98$	$R_2 = 0,46$
3	$l_{0,z,3} = 1,8$	$\sigma_{cr,z,3} = 126,73$	$\lambda_{rel,z,3} = 0,44$	$k_{c,z,3} = 0,98$	$R_3 = 0,27$

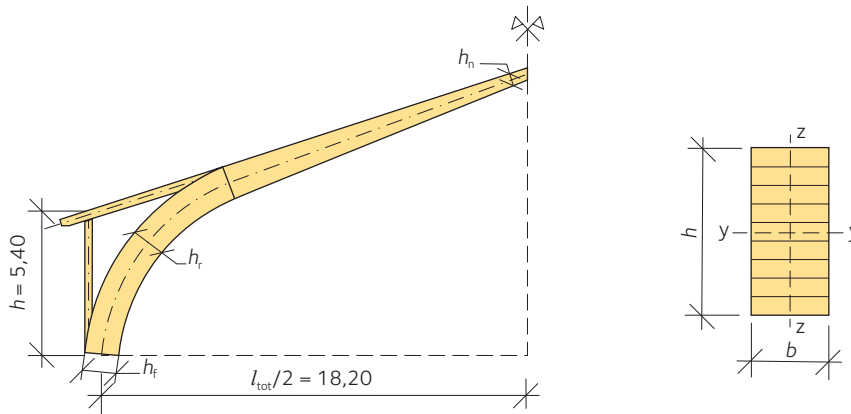
Kontrollera villkoret för vippning och knäckning kring z-axeln (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.35):

Tvär-snitt	Effektiv längd, $l_{0,z}$ [mm]	Kritisk böjspänning, $\sigma_{cr,m}$ [MPa]	Relativt slankhetstal, $\lambda_{rel}$	Reduktionsfaktor vid vippning, $k_{c,z}$	Utnyttjandegrad $\left(\frac{M_{yd}}{W \cdot k_{crit} \cdot f_{md}}\right)^2 + \frac{N_d}{A \cdot k_{c,z} \cdot f_{cd}}$
1	$l_{0,z,1} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,1} = 291,33$	$\lambda_{rel,z,1} = 0,32$	$k_{crit,1} = 1$	$R_1 = 0,56$
2	$l_{0,z,2} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,2} = 211,02$	$\lambda_{rel,z,2} = 0,38$	$k_{crit,2} = 1$	$R_2 = 0,38$
3	$l_{0,z,3} = 1,8$	$\sigma_{cr,m,3} = 211,02$	$\lambda_{rel,z,3} = 0,42$	$k_{crit,3} = 1$	$R_3 = 0,23$

f) Stabilitetskontroll för samtidig böjning och tryck vid krökta delen, tvärsnitt 4

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{Ed}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 820 \cdot 10^6}{215 \cdot 1530^2} = 9,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{408 \cdot 10^3}{215 \cdot 1530} = 1,24 \text{ MPa}$$



Stabilitetskontroll kring z-axeln (utknäckning i y-riktning), se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 10.4.1*:  
Knäcklängd:

$$l_{0,z} = 9,6 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{A \cdot (l_{0,z})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 10800 \cdot \frac{215^3 \cdot 1530}{12}}{215 \cdot 1530 \cdot (9,6 \cdot 10^3)^2} = 4,45 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{4,45}} = 2,35$$

Faktor k:

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = \frac{1}{2} \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,35 - 0,3) + 2,35^2] = 3,35$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,35 + \sqrt{3,35^2 - 2,35^2}} = 0,17$$

**Vipplingskontroll**

Vipplingslängd:

$$l_{0,z} = 9,6 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{\text{cr,m}} = \frac{\left( \frac{\pi}{l_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{05} \cdot k_v} + \frac{E_{0,05} \cdot I_z + G_{05} \cdot k_v}{2 \cdot R} \right)}{W_y} = 34,89 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,k}}}{\sigma_{\text{cr,m}}}} = \sqrt{\frac{30}{34,89}} = 0,93$$

Reduktionsfaktor vid vippning:

$$\text{för } 0,75 < \lambda < 1,4 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m}} = 0,86$$

Förminska böjdraghållfastheten parallellt fibrerna med faktorn  $k_r$  (SS-EN 1995-1-1, ekvation 6.49):

$$\frac{R}{t_{\text{lam}}} = \frac{8 \cdot 10^3}{33,33} = 240,02$$

$$k_r = 1,0$$

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

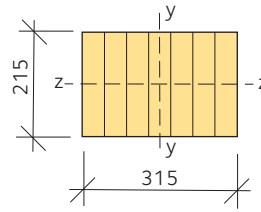
$$\frac{\sigma_{\text{c},0,\text{d}}}{k_{\text{c,z}} \cdot f_{\text{c},0,\text{d}}} + 0,7 \cdot \frac{\sigma_{\text{m,d}}}{k_r \cdot f_{\text{m,d}}} = \frac{1,24}{0,17 \cdot 15,68} + 0,7 \cdot \frac{9,78}{1 \cdot 19,2} = 0,82 < 1 \quad \text{OK}$$

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

$$\left( \frac{\sigma_{\text{m,d}}}{k_r \cdot k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,d}}} \right)^2 + \frac{\sigma_{\text{c},0,\text{d}}}{k_{\text{c,z}} \cdot f_{\text{c},0,\text{d}}} = \left( \frac{9,78}{1 \cdot 0,86 \cdot 19,2} \right)^2 + \frac{1,24}{0,17 \cdot 15,68} = 0,82 < 1 \quad \text{OK}$$

g) Ramben

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{128 \cdot 10^3}{315 \cdot 215} = 1,90 \text{ MPa}$$



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

Knäcklängd:

$$l_{0,z} = 6,2 \text{ m}$$

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{(b \cdot h) \cdot l_{0,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{315 \cdot 215^3}{12}}{315 \cdot 215 \cdot (6,2 \cdot 10^3)^2} = 10,67 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{10,67}} = 1,52$$

Faktor k:

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + 0,1 \cdot (1,52 - 0,3) + 1,52^2 \right] = 1,71$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,52^2}} = 0,4$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,90}{0,4 \cdot 15,68} = 0,30 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

h) Stabilitetskontroll i ramens plan för samtidig böjning och tryck

Tvärsnittet med den största påkänningen är tvärsnitt 4:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{408 \cdot 10^3}{215 \cdot 1530} = 1,24 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} = \frac{6 M_{Ed}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 820 \cdot 10^6}{215 \cdot 1530^2} = 9,78 \text{ MPa}$$

Motsvarande knäckningsmodell visas nedan.



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

Bestäm den kritiska normalkraften med hjälp av Finita elementmetoden.

Kritisk normalkraft:

$$N_{cr} = 4304,4 \text{ kN}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\frac{N_{cr}}{A}}} = \sqrt{\frac{24,5}{\frac{4304,4 \cdot 10^3}{328950}}} = 1,37$$

Faktor  $k$ :

$$k_y = 0,5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,1 \cdot (1,37 - 0,3) + 1,37^2 \right] = 1,49$$

Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,49 + \sqrt{1,49^2 - 1,37^2}} = 0,48$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,90}{0,48 \cdot 15,68} + \frac{9,78}{19,2} = 0,76 < 1 \quad \text{OK}$$