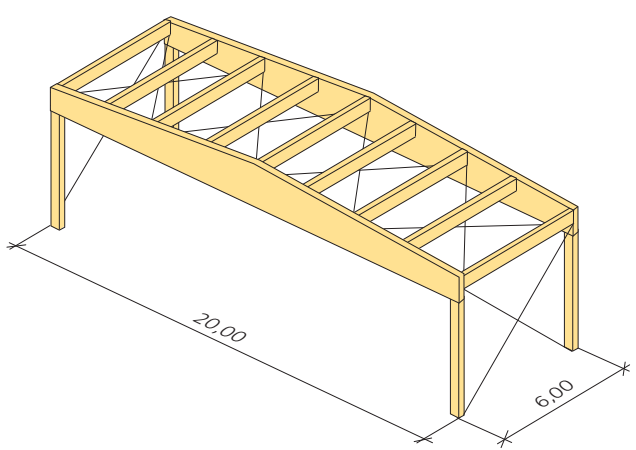


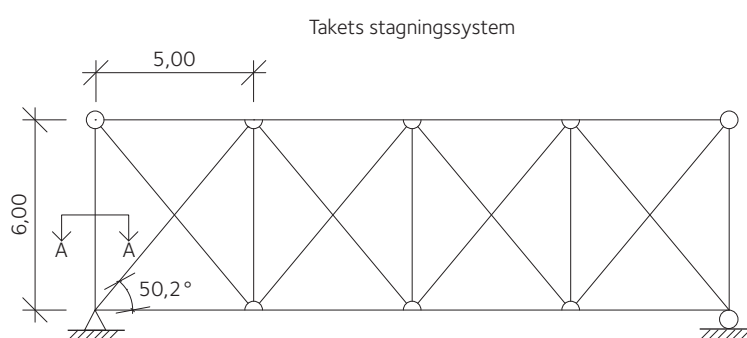
Exempel 7: Stagningsystem

7.1 Konstruktion, mått och dimensioneringsunderlag

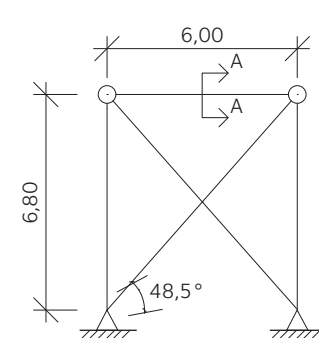
Dimensionera stagningsystemet enligt nedan. Systemet stagar konstruktionen som beräknas i *exempel 2*.



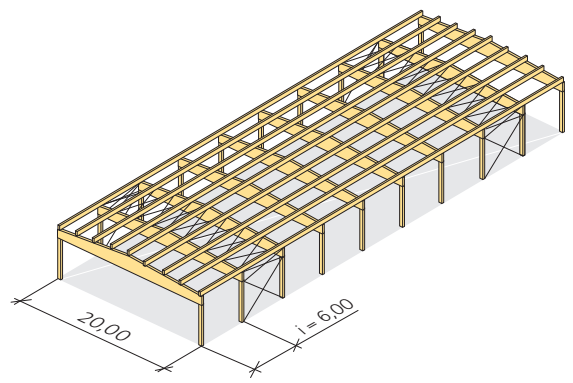
Takets stagningsystem



Väggens stagningsystem



Sadelbalkar av limträ, hållfasthetsklass	GL30c
Trycksträvor av limträ, hållfasthetsklass	GL30c
Dragbanden av stål, hållfasthetsklass	5.6
Säkerhetsklass 3	$\gamma_d = 1$
Klimatklass 1	
Partialkoefficient för permanent last	$\gamma_g = 1,2$
Partialkoefficient för variabel last	$\gamma_q = 1,5$
Partialkoefficient för limträ	$\gamma_M = 1,25$
Partialkoefficient för limträ	$\gamma_{M2} = 1,2$



7.2 Laster

Beakta följande laster vid dimensionering:

Limträbalkar

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

Övrig permanent last

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

$$g_{k,2} = G_{k,2} \cdot i \cdot 1,1 = 0,6 \cdot 6 \cdot 1,1 = 3,96 \text{ kN/m}$$

Snölast

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

$$s_k = S_k \cdot i \cdot \mu \cdot 1,1 = 1,5 \cdot 6 \cdot 0,854 \cdot 1,1 = 8,46 \text{ kN/m}$$

Vindlast

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

$$q_{w,k,pos} = Q_{w,k} \cdot C_{e,pos} = 0,7 \cdot 0,75 = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

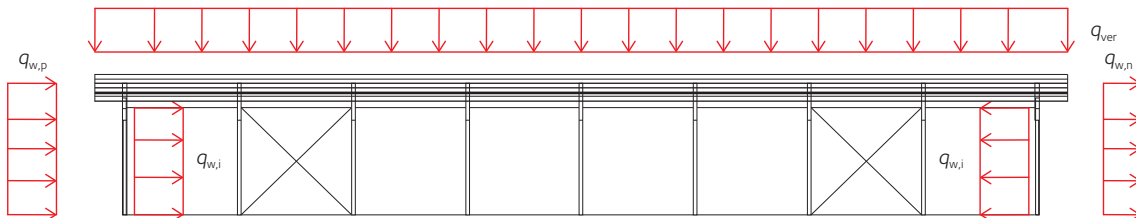
$$q_{w,k,neg} = Q_{w,k} \cdot C_{e,neg} = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,k,int} = Q_{w,k} \cdot C_{int} = 0,7 \cdot 0,35 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

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

7.3 Lastkombinationer

Förenkla verkan av vind till följande jämnt utbredda laster:



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

Kombination 1 (snölast huvudlast, $k_{mod} = 0,8$):

$$q_{ver,1} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,beam} + g_{k,2}) + \gamma_q \cdot s_k] = 1 \cdot [1,2 \cdot (1,1 + 3,96) + 1,5 \cdot 8,46] = 18,75 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,p,1} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,pos} \cdot \psi_{0,w} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,53 \cdot 0,3 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,n,1} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,neg} \cdot \psi_{0,w} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,28 \cdot 0,3 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,i,1} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,int} \cdot \psi_{0,w} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,25 \cdot 0,3 = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

Kombination 2 (vindlast huvudlast, $k_{mod} = 0,9$):

$$q_{ver,2} = \gamma_d \cdot [\gamma_g \cdot (g_{k,beam} + g_{k,2}) + \gamma_q \cdot \psi_{0,s} \cdot s_k] = 1 \cdot [1,2 \cdot (1,1 + 3,96) + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 8,46] = 13,68 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,p,2} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,pos} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,53 = 0,79 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,n,2} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,neg} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,28 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

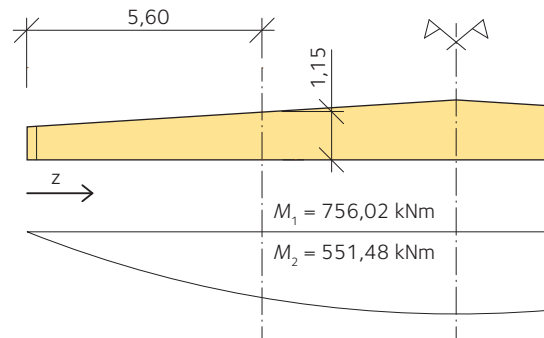
$$q_{w,i,2} = \gamma_d \cdot \gamma_q \cdot q_{w,k,int} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,25 = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

7.4 Stagningslast

Stagningssystemet belastas av vindlast och inre stagningslast (SS-EN 1995-1-1, avsnitt 9.2.5.3). Sadelbalkens böjspänning i tvärsnittet med största påkänning beräknas i *exempel 2*.

$$\text{vid } x = x_{\max}: M_1 = \frac{q_{\text{ver},1} \cdot x_{\max}}{2} \cdot (l_{\text{tot}} - x_{\max}) = \frac{18,75 \cdot 5,6}{2} \cdot (20 - 5,6) = 756,02 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{q_{\text{ver},2} \cdot x_{\max}}{2} \cdot (l_{\text{tot}} - x_{\max}) = \frac{13,68 \cdot 5,6}{2} \cdot (20 - 5,6) = 551,48 \text{ kNm}$$



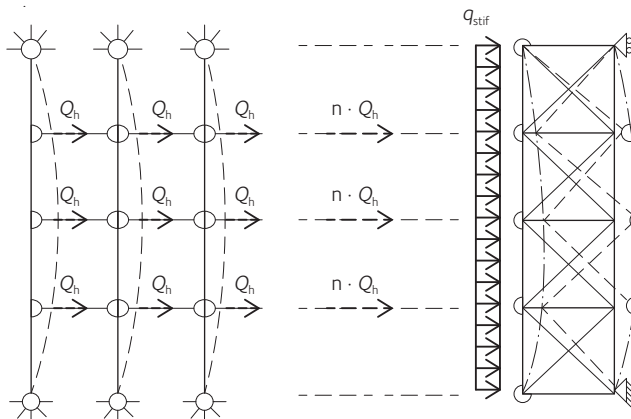
Konstruktionen stagas med två stagningsssystem, vart och ett stagar halva antalet av sadelbalkarna. Sålunda är $n = 4$.

Observera att balkarnas totala antal är 9, men gavelbalkarnas vertikallast är hälften av de andra balkarnas last.

Stagningslaster, se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 13*:

$$q_{\text{st},1} = n \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{M_1}{l_{\text{tot}} \cdot h_{x,\max}} = 4 \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{756,02}{20 \cdot 1,15} = 6,56 \text{ kN/m}$$

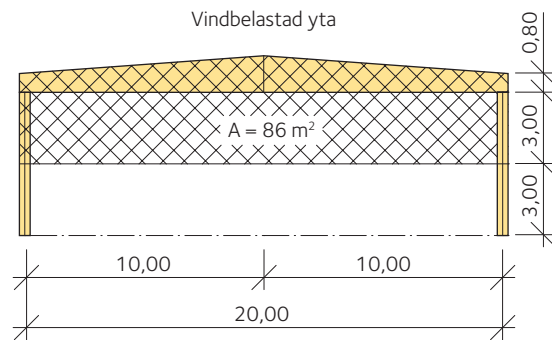
$$q_{\text{st},2} = n \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{M_2}{l_{\text{tot}} \cdot h_{x,\max}} = 4 \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{551,48}{20 \cdot 1,15} = 4,77 \text{ kN/m}$$



7.5 Takets stagningssystem

Vindlasten verkar på den yta som visas nedan. Faktorn 1,1 beaktar inverkan av takåsar och långsidornas väggåsar.

$$A_{\text{wind}} = 86 \cdot 1,1 = 94,6 \text{ m}^2$$



Anta att vindlasten verkar jämnt fördelad längs med takets plan. Anta att det närmaste stagningssystemet bär hela vindlasten. Takkonstruktionen är vanligtvis inte tillräckligt styv för att fördela vindlasten jämnt till de båda stagningssystemen.

$$q_{w,1} = (q_{w,p,1} + q_{w,i,1}) \cdot \frac{A_{\text{wind}}}{l_{\text{tot}}} = (0,24 + 0,11) \cdot \frac{94,6}{20} = 1,64 \text{ kN/m}$$

$$q_{w,2} = (q_{w,p,2} + q_{w,i,2}) \cdot \frac{A_{\text{wind}}}{l_{\text{tot}}} = (0,79 + 0,37) \cdot \frac{94,6}{20} = 5,46 \text{ kN/m}$$

Totala lasten som överförs till stagningssystemet är:

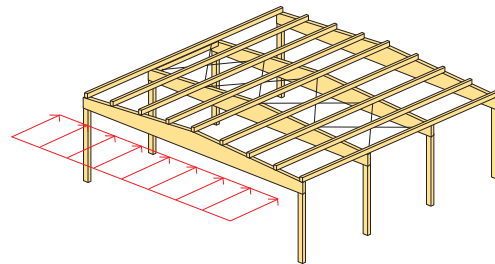
$$q_{\text{tot},1} = q_{w,1} + q_{st,1} = 1,64 + 6,56 = 8,20 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{tot},2} = q_{w,2} + q_{st,2} = 5,46 + 4,77 = 10,23 \text{ kN/m}$$

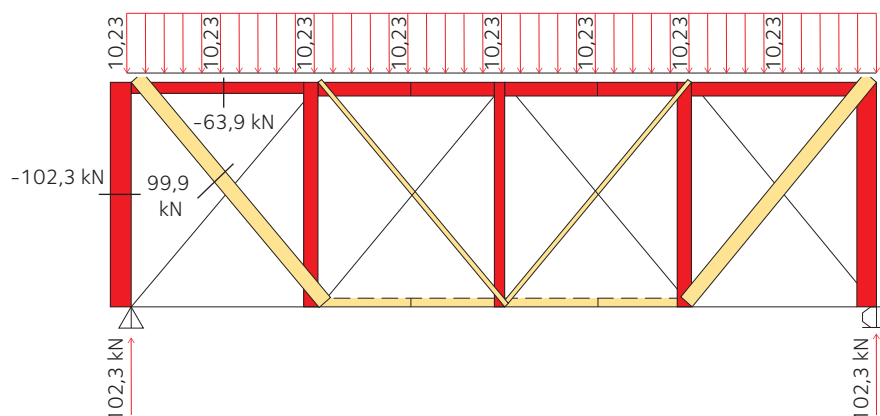
Välj den kritiska kombinationen i brottgränstillståndet:

$$\frac{q_{\text{tot},1}}{k_{\text{mod},1}} = \frac{8,20}{0,8} = 10,3 < \frac{q_{\text{tot},2}}{k_{\text{mod},2}} = \frac{10,23}{0,9} = 11,4$$

Sålunda är kombination 2 dimensionerande i brottgränstillstånd.



a) Inre krafter och stödreaktioner



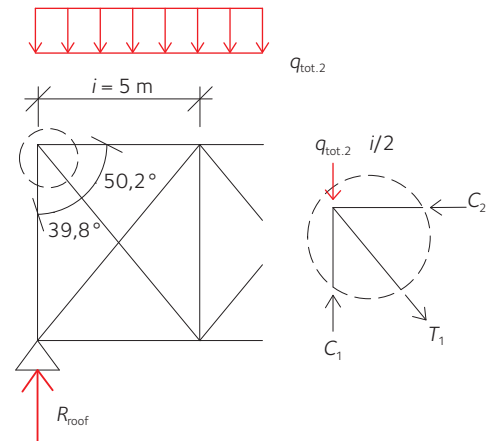
$$R_{\text{roof}} = q_{\text{tot},2} \cdot \frac{l_{\text{tot}}}{2} = 10,23 \cdot \frac{20}{2} = 102,3 \text{ kN}$$

$$C_1 = R_{\text{roof}} = 102,3 \text{ kN}$$

$$q_{\text{tot},2} \cdot \frac{i}{2} = 10,23 \cdot \frac{5}{2} = 25,6 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{\left(C_1 - q_{\text{tot},2} \cdot \frac{i}{2} \right)}{\cos(39,8^\circ)} = \frac{102,3 - 10,23 \cdot \frac{5}{2}}{\cos(39,8^\circ)} = 99,87 \text{ kN}$$

$$C_2 = T_1 \cdot \cos(50,2^\circ) = 99,87 \cdot \cos(50,2^\circ) = 64 \text{ kN}$$



b) Trycksträva

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b \cdot h} = \frac{102,3 \cdot 10^3}{190 \cdot 225} = 2,4 \text{ MPa}$$

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

Knäcklängd:

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

Kritisk Eulerspänning:

$$\sigma_{\text{cr},z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{(b \cdot h) \cdot l_{0,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10800 \cdot \frac{190^3 \cdot 225}{12}}{190 \cdot 225 \cdot (6 \cdot 10^3)^2} = 8,9 \text{ MPa}$$

Relativt slankhetstal:

$$\lambda_{\text{rel},z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{\text{cr},z}}} = \sqrt{\frac{24,5}{8,91}} = 1,66$$

Faktor k :

$$k_z = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},z}^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,66 - 0,3) + 1,66^2 \right] = 1,94$$

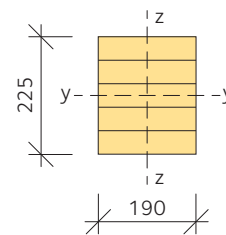
Reduktionsfaktor vid knäckning:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = \frac{1}{1,94 + \sqrt{1,94^2 - 1,66^2}} = 0,34$$

Kontrollera villkoret för knäckning kring z-axeln (SS-EN 1995-1-1 ekvation 6.23):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,39}{0,34 \cdot 17,64} = 0,4 < 1 \quad \text{OK}$$

Trycksträva
Tvärsnitt A-A
(se 7.1, sidan 124)



c) Dragband

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

$$T_{\text{Ed}} = 99,9 \text{ kN}$$

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

$$T_{\text{Rd}} = \frac{A_{\text{net}} \cdot f_{\text{uk}} \cdot 0,9}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{353 \cdot 500 \cdot 0,9}{1,2} = 132375 \text{ N}$$

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

$$\frac{T_{\text{Ed}}}{T_{\text{Rd}}} = \frac{99,9}{132,38} = 0,75 < 1 \quad \text{OK}$$

7.6 Väggens stagningssystem

Väggens stagningssystem belastas av en punktlast som är summan av stödreaktionerna från takets stagningssystem och avstyvningslasten som verkar på pelarna.

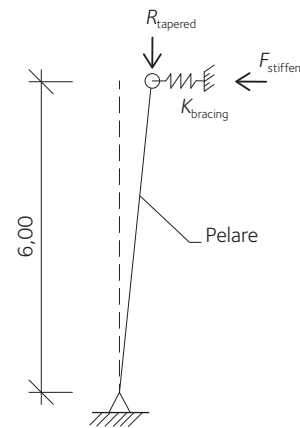
Beräkna avstyvningslasten på pelarna med hjälp av den statiska modellen nedan, se *Projektering av limträkonstruktioner, avsnitt 13*:

$$R_{\text{tapered}} = q_{\text{ver},2} \cdot \frac{l_{\text{tot}}}{2} = 13,68 \cdot \frac{20}{2} = 137 \text{ kN}$$

$$F_{\text{stiffen}} = \frac{n \cdot R_{\text{tapered}}}{100} = \frac{4 \cdot 137}{100} = 5,5 \text{ kN}$$

$$K_{\text{min}} = 2 \cdot n \cdot \frac{R_{\text{tapered}}}{h} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{137}{6,8} = 160,9 \text{ N/mm}$$

$$K_{\text{bracing}} = \frac{E_{\text{steel}} \cdot A_{\text{tierod}} \cdot (\cos(48,5^\circ))^3}{h} = \frac{210000 \cdot \frac{\pi \cdot 27^2}{4} \cdot \cos(48,5^\circ)^3}{6,8 \cdot 10^3} = 5144,2 \text{ N/mm}$$



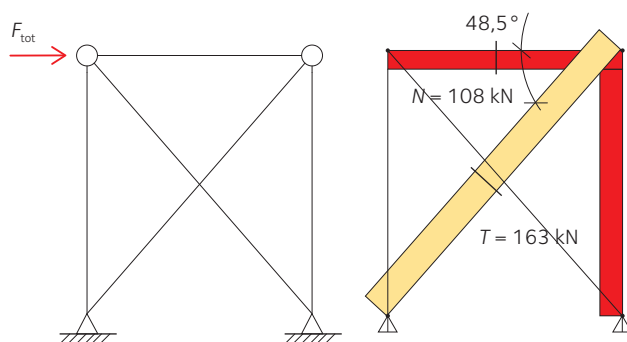
Kontrollera villkoret för stabiliserande kraft:

$$K_{\text{bracing}} = 5144,2 \text{ N/mm} > K_{\text{min}} = 160,9 \text{ N/mm} \quad \text{OK}$$

a) Trycksträva

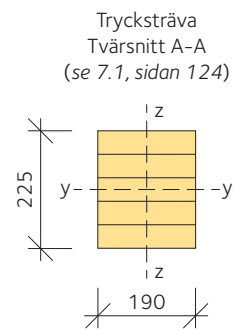
Beräkna normalkraften:

$$F_{\text{tot}} = R_{\text{roof}} + F_{\text{stiffen}} = 102,3 + 5,5 = 107,8 \text{ kN}$$



Kontrollera på nytt trycksträvan 190 × 225 mm.
Beakta också avstyvningslasten:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{107,8 \cdot 10^3}{190 \cdot 225} = 2,52 \text{ MPa}$$



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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,52}{0,34 \cdot 17,64} = 0,42 < 1 \quad \text{OK}$$

b) Dragband

Använd dragband med diametern $d = 27 \text{ mm}$ ($A_{\text{net}} = 459 \text{ mm}^2$) i väggens stagningsystem:

$$T_{Ed} = 162,7 \text{ kN}$$

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

$$T_{Rd} = \frac{A_{\text{net}} \cdot f_{uk} \cdot 0,9}{\gamma_{M2}} = \frac{459 \cdot 500 \cdot 0,9}{1,2} = 172125 \text{ N}$$

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

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{162,7}{172,1} = 0,95 < 1 \quad \text{OK}$$