
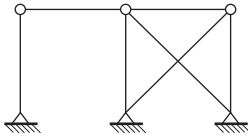

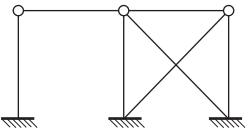

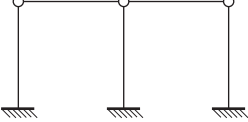

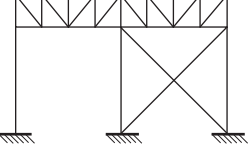
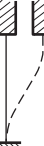
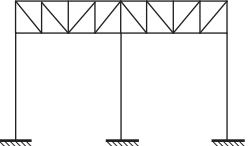
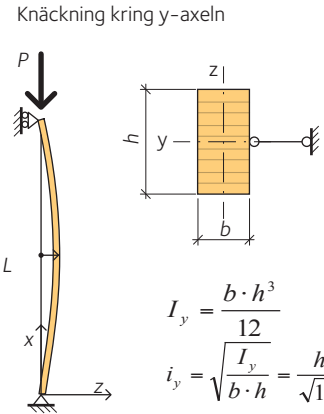


## 9 Dimensionering av tryckta och böjda konstruktioner i brottgränstillstånd, när stabilitet är avgörande

**Tabell 9.1** Knäcklängder för pelare.  $\beta = L_E / L$ , där  $L_E$  är pelarens effektiva längd (eller knäcklängd) och  $L$  är pelarens geometriska längd. De  $\beta$ -värden som rekommenderas för dimensionering utgår från de ideala värdena men är modifierade eftersom ideala infästningsförhållanden ytterst sällan förekommer i praktiken.

Modell	Typiskt exempel	Teoretiskt $\beta$ -värde	Rekommenderat $\beta$ -värde
		1,0	1,0
		0,7	0,85
		2,0	2,25
		0,5	0,7
		1,0	1,2

**Tabell 9.2** Definition av knäckkraft  $P_{cr}$  och relativt slankhetstal  $\lambda_{rel}$ . Det antas att pelaren är stagad i y-riktningen, sålunda kan knäckning endast ske kring y-axeln.

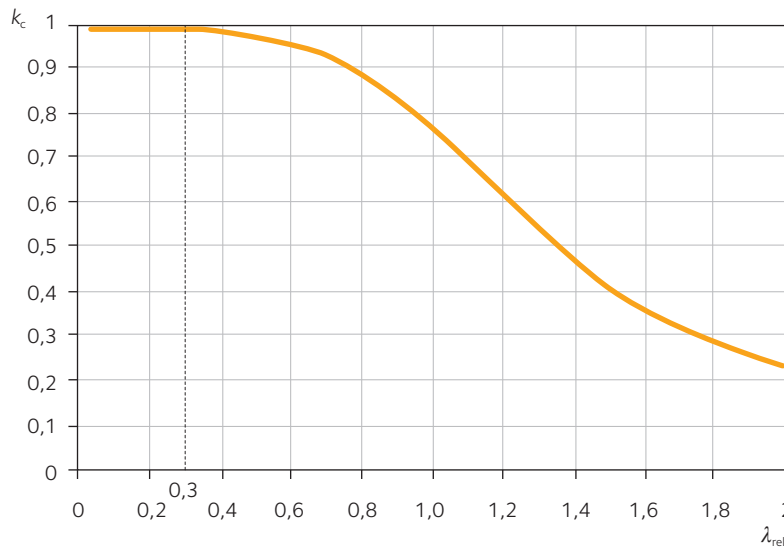
Knäckkraft	$P_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{0,05} \cdot I_y}{L_E^2}$	<p>Knäckning kring y-axeln</p>  $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $\lambda_y = \frac{\beta \cdot L}{i_y}$
Relativt slankhetstal	$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k} \cdot A}{P_{cr}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$	
där:		
$P_{cr}$	är knäckkraften.	
$f_{c,0,k}$	är det karakteristiska värdet för tryckhållfasthet parallellt fibrerna.	
$A$	är tvärsnittets area.	
$E_{0,05}$	är det karakteristiska värdet för elasticitetsmodul.	
$I_y$	är tvärsnittets tröghetsmoment i förhållande till y-axeln.	
$L_E$	är knäcklängd = $\beta \cdot L$ , se tabell 9.1.	

**Tabell 9.3** Knäckning av inspänd pelare som stagar ledade pelare, enligt Åkerlund, S., Stål- och träkonstruktioner AK II, Lunds Tekniska Högskola, 1984.

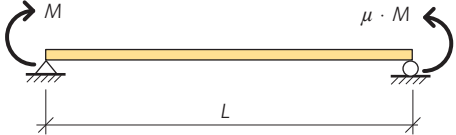
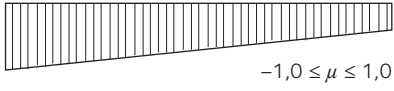
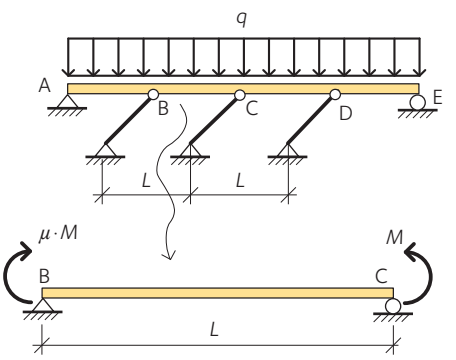

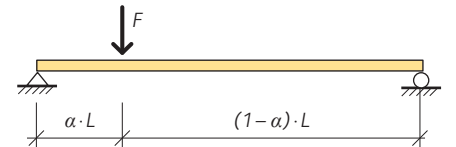
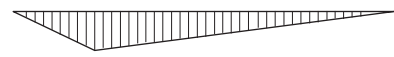
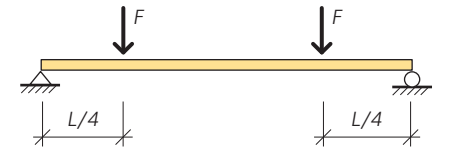

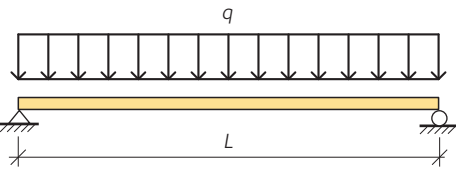
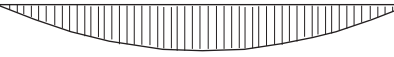
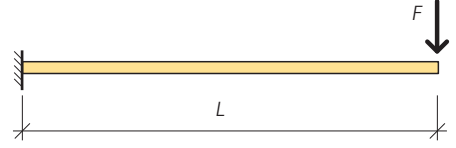
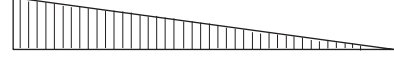
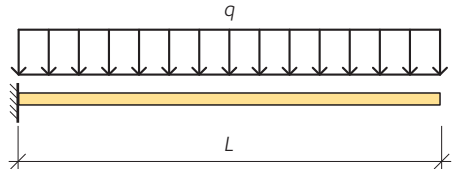

Initialavvikelse från lodrät position (medelvärde)	$\alpha_m = 0,003 + 0,015/\sqrt{n}$
Motsvarande horisontalkraft (eller destabiliserande kraft) som inverkar vid den inspända pelarens topp	$\alpha_m \cdot \sum_1^n P_i + v_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_0}{P_{cr}}} \cdot \sum_1^n \frac{P_i}{L_i}$ $H = \frac{\alpha_m \cdot \sum_1^n P_i + v_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_0}{P_{cr}}} \cdot \sum_1^n \frac{P_i}{L_i}}{1 - \frac{L_0^3}{3 \cdot E_{0,05} \cdot I_y} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_0}{P_{cr}}} \cdot \sum_1^n \frac{P_i}{L_i}}$
Stabilitetskontroll för den inspända pelaren	Se tabell 9.1 och 9.2, sidan 1.
där:	
$n$	är antalet pelare som är ledade i båda ändarna ( $n = 3$ i ovanstående figur).
$v_0$	är horisontalförskjutningen vid pelartoppen förorsakad av lasten (utan bidrag av "H"). I ovanstående exempel: $v_0 = \frac{q \cdot L_0^2}{8 \cdot E \cdot I_y}$
$P_{cr}$	är knäckkraften för den inspända pelaren, se tabell 9.1 och 9.2, sidan 1.
$I_y$	är tvärsnittets tröghetsmoment i förhållande till y-axeln.
$E_{0,05}$	är det karakteristiska värdet för elasticitetsmodul.

Tabell 9.4 Pelare enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.3.2.

$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_n} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$		
där:		
$\sigma_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckspänning parallellt fibrerna.	
$f_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet tryckhållfasthet parallellt fibrerna.	
$F_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckkraft parallellt fibrerna.	
$A_n$	är nettotvårsnittets area.	
$k_c$	är reduktionsfaktorn som beaktar knäckning: $k_c = \begin{cases} 1 & \text{för } \lambda_{rel} \leq 0,3 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} & \text{för } \lambda_{rel} > 0,3 \end{cases}$ där: $k = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2]$ och $\lambda_{rel}$ är enligt tabell 9.2, sidan 1.	



**Tabell 9.5** Effektiv längd för element utsatta för böjning. Avståndet mellan stagpunkter:  $L$ .  $\beta_{LT} = L_{ef} / L$ , där  $L_{ef}$  är elementets effektiva längd och  $L$  är elementets geometriska längd. Elementet kan fritt böja sig i sidled men inte vrida sig vid upplagen och stagpunkterna.

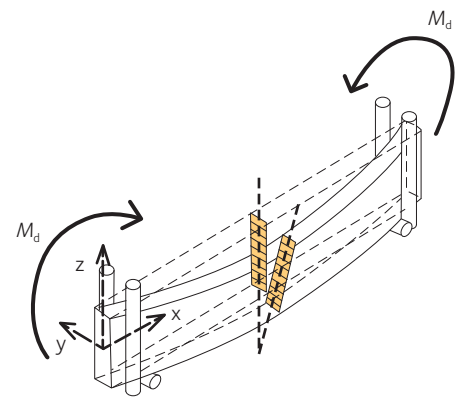
Statiskt system	Momentdiagram	$\beta_{LT} = L_{ef} / L$
	 <p style="text-align: center;"><math>-1,0 \leq \mu \leq 1,0</math></p>	$0,6 + 0,4 \cdot \mu (\geq 0,4)$
	 <p style="text-align: center;"><math>M_B \approx M_C</math> (<math>\mu \approx 1</math>)</p>	1,0
		$0,56 + 0,74 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)^{11}$
		1,0 <sup>11)</sup>
		0,9 <sup>11)</sup>
		0,8 <sup>11)</sup>
		0,5 <sup>11)</sup>

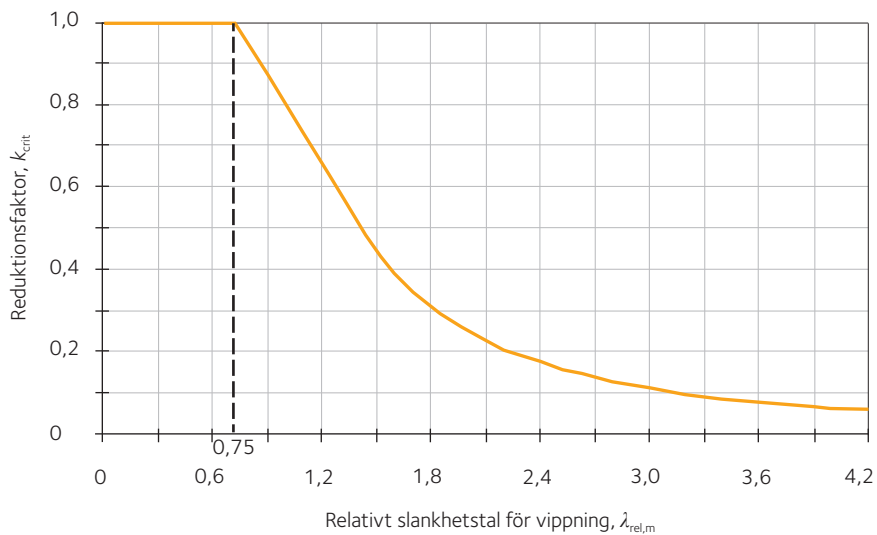
<sup>11)</sup> Förhållandet mellan effektiv längd  $L_{ef}$  och spännvidd  $L$  gäller för en balk som är belastad i tvärsnittsaxeln. Om lasten verkar i balkens övre kant, bör  $L_{ef}$  ökas med  $2 \cdot h$ . Om lasten verkar i balkens nedre kant, bör  $L_{ef}$  minskas med  $0,5 \cdot h$ , där  $h$  är balkhöjden.

**Tabell 9.6** Definition av kritiskt böjmoment  $M_{cr}$  och relativt slankhetstal  $\lambda_{rel,m}$ .

Kritiskt böjmoment $M_{cr} = \frac{\pi}{L_{ef}} \sqrt{(E_{0,05} \cdot I_z) \cdot (G_{0,05} \cdot K_v)}$		
Relativt slankhetstal $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k} \cdot W}{M_{cr}}} \approx \frac{1}{b} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot L_{ef} \cdot f_{m,k}}{0,78 \cdot E_{0,05}}}$		
där:		
$M_{cr}$	är det kritiska böjmomentet.	
$f_{m,k}$	är det karakteristiska värdet för böjhållfasthet.	
$b$	är balkens bredd.	
$h$	är balkens höjd.	
$W$	är balkens böjmotstånd (= $b \cdot h^2/6$ ).	
$E_{0,05}$	är det karakteristiska värdet för elasticitetsmodul.	
$G_{0,05}$	är det karakteristiska värdet för skjuvmodul.	
$K_v$	är vridstyvhetens tvärsnittsfaktor ( $\approx b^3 \cdot h/3$ ).	
$I_z$	är tvärsnittets tröghetsmoment i förhållande till z-axel.	
$L_{ef}$	är effektiv längd eller vippningslängd.	

Tabell 9.7 Balkar enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.3.3.

$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$		
där:		
$\sigma_{m,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjspänning.	
$f_{m,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjhållfasthet.	
$M_d$	är dimensioneringsvärdet för böjmoment.	
$W_n$	är nettotvårsnittets böjmotstånd.	
$k_{crit}$	är reduktionsfaktorn som beaktar vippning: <sup>1)</sup> $k_{crit} = \begin{cases} 1,0 & \text{för } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{för } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \left(\frac{1}{\lambda_{rel,m}}\right)^2 & \text{för } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases}$ och $\lambda_{rel}$ är enligt tabell 9.6, sidan 5.	

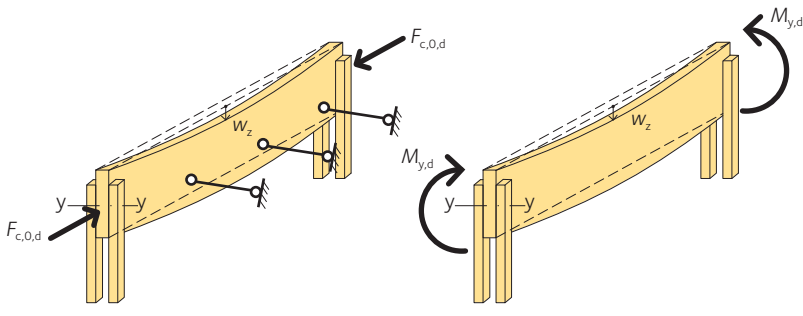
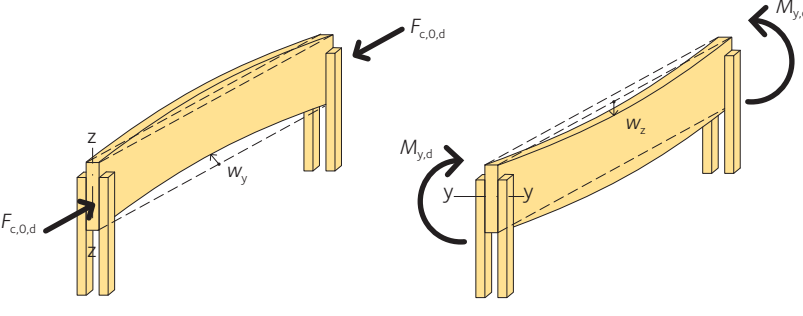


<sup>1)</sup> Observera att om någotdera av följande villkor uppfylls:

- $(L_{ef} \cdot h) / b^2 \leq 140$
- $h / b \leq -4$

är vippning osannolik och  $k_{crit}$  kan sättas till 1.

**Tabell 9.8** Element belastade med både tryck och böjning (utan vippning, alltså  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ ) enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.3.2.

 <p>Knäckning kring y-axeln → <math>k_{c,y}</math></p> <p>Böjning kring y-axeln → <math>\sigma_{m,y}</math></p>	
$\frac{F_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot (A_n \cdot f_{c,0,d})} + \frac{M_{y,d}}{W_{n,y} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1$	
 <p>Knäckning kring z-axeln → <math>k_{c,z}</math></p> <p>Knäckning kring y-axeln → <math>\sigma_{m,y}</math></p>	
$\frac{F_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot (A_n \cdot f_{c,0,d})} + 0,7 \cdot \frac{M_{y,d}}{W_{n,y} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1$	
$F_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckkraft parallellt fibrerna.
$M_{y,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjmoment kring y-axeln.
$f_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckhållfasthet parallellt fibrerna.
$f_{m,y,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjhållfasthet kring y-axeln.
$A_n$	är nettotvårsnittets area.
$W_{n,y}$	är nettotvårsnittets böjmotstånd kring y-axeln.
$k_{c,y}$ och $k_{c,z}$	är reduktionsfaktorerna för instabilitet kring y- och z-axlarna.

**Tabell 9.9** Balkar belastade med både tryck och böjning (eventuellt med vippning,  $\lambda_{rel,m} > 0,75$ ) enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.3.3.

$\frac{F_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot (A_n \cdot f_{c,0,d})} + \left[ \frac{M_{y,d}}{k_{crit} \cdot (W_{n,y} \cdot f_{m,y,d})} \right]^2 \leq 1$	
$F_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckkraft parallellt fibrerna.
$M_{y,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjmoment kring y-axeln.
$f_{c,0,d}$	är dimensioneringsvärdet för tryckhållfasthet parallellt fibrerna.
$f_{m,y,d}$	är dimensioneringsvärdet för böjhållfasthet kring y-axeln.
$A_n$	är nettotvärsnittets area.
$W_{n,y}$	är nettotvärsnittets böjmotstånd kring y-axeln.
$k_{c,z}$	är reduktionsfaktorn för instabilitet kring till z-axeln.
$k_{crit}$	är reduktionsfaktorn för vippning.





## Upphängda laster vid balkens dragna kant

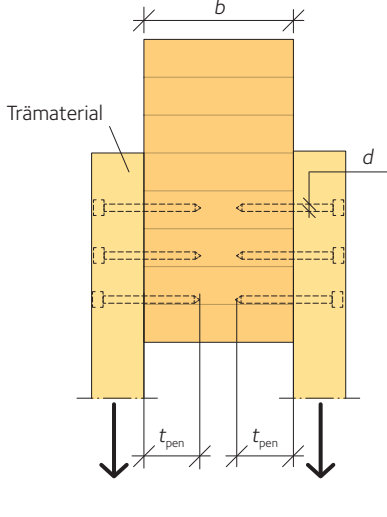
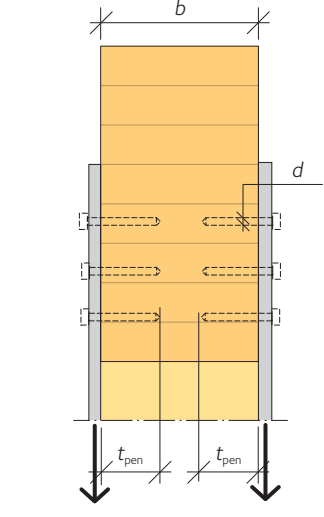
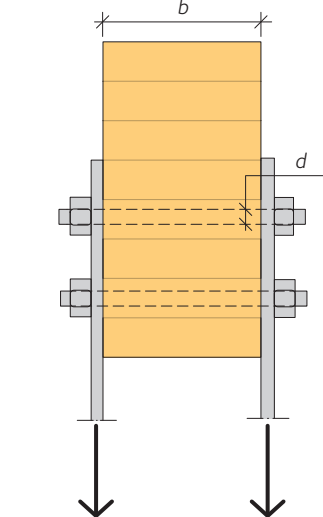
**Tabell 9.12** Krafterna i ett förband i vinkel mot fiberriktningen enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

$F_{90,Rd} = k_s \cdot k_r \cdot \left( 6,5 + \frac{18 \cdot h_e^2}{h^2} \right) \cdot (t_{ef} \cdot h)^{0,8} \cdot f_{t,90,d}$	
<p>där:</p> $k_s = \max \left\{ 1; 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} \right\} \quad \text{och} \quad k_r = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{h_1}{h_i} \right)^2}$	
<p>Kontrollera: <math>F_{90,Rd} \geq F_{v,Ed}</math></p>	
<p>(Förband med <math>a_r/h &gt; 1</math> och <math>F_{v,Ed} &gt; 0,5 \cdot F_{90,Rd}</math> bör förstärkas, se tabell 9.14, sidan 11)</p>	
<p>där:</p>	
$F_{v,Ed}$	är dimensioneringsvärdet för kraftkomponenten vinkelrätt fibrerna, [N].
$F_{90,Rd}$	är dimensioneringsvärdet för bärförmågan vid fläkning, [N].
$f_{t,90,d}$	är dimensioneringsvärdet för draghållfasthet vinkelrätt fibrerna, [MPa].
$k_s$	är faktorn som beaktar avståndet mellan de fästdon som är i samma rad parallellt fibrerna.
$k_r$	är faktorn som beaktar antal rader med fästdon.
$h_e$	är avståndet från den belastade kanten till fästdonet längst bort från denna kant, [mm].
$a_r$	är avståndet mellan de två yttersta fästdonen i samma rad parallellt fibrerna, se ovanstående figur.
$h$	är balkens höjd, [mm].
$t_{ef}$	är det effektiva inträngningsdjupet i mm, se tabell 9.13, sidan 11.
$n$	är antalet rader med fästdon.
$h_i$	är avståndet från den obelastade kanten till raden med fästdon, se ovanstående figur.

För förband med  $h_e/h > 0,7$ , behövs inga ytterligare beräkningar.

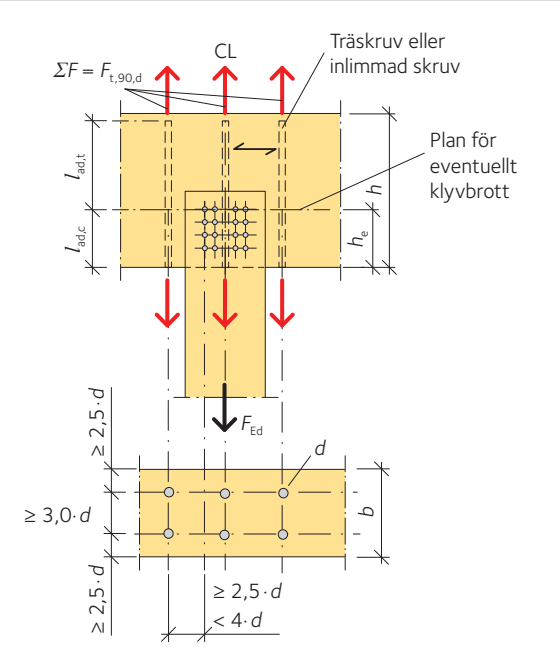
Förband med  $h_e/h < 0,2$  bör enbart belastas kortvarigt, till exempel vindens sugkraft.

Tabell 9.13 Det effektiva inträngningsdjupet  $t_{ef}$  för olika förbandstyper enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

Spikat eller skruvat förband, antingen med trä mot trä eller skiva mot trä	Spikat förband med stål mot trä	Dymlat eller skruvat förband, antingen med trä mot trä eller stål mot trä
		
$t_{ef} = \min \{ b; 2 \cdot t_{pen}; 24 \cdot d \}$	$t_{ef} = \min \{ b; 2 \cdot t_{pen}; 30 \cdot d \}$	$t_{ef} = \min \{ b; 12 \cdot d \}$ <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> För förband med träskruvar gäller:  $t_{ef} = \min \{ b; 2 \cdot t_{pen}; 12 \cdot d \}$

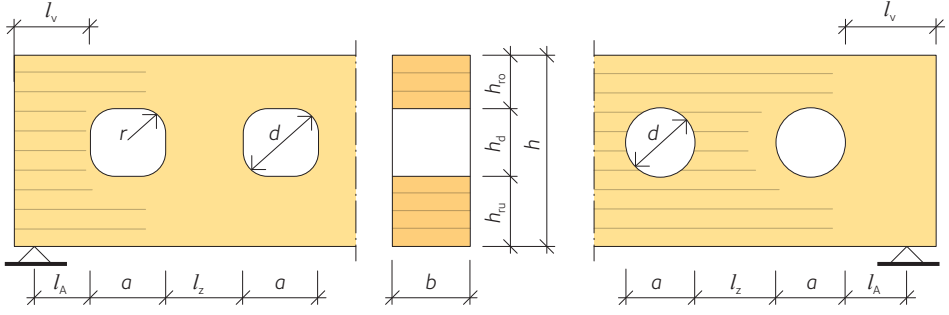
Tabell 9.14 Förstärkning av balkens undre kant när ett förband försakar dragning vinkelrätt mot fiberriktningen enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

$F_{t,90,d} = [1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3] \cdot F_{v,Ed}$		
Kontrollera: $F_{t,90,d} \leq n_r \cdot R_{t,d}$		
där:		
$F_{t,90,d}$	är dimensioneringsvärdet för dragkraften vinkelrätt fibrerna.	
$F_{v,Ed}$	är dimensioneringsvärdet för dragkraftens komponent vinkelrätt fibrerna.	
$R_{t,d}$	är dimensioneringsvärdet för axial bärförmåga för förstärkningen, träskruv/inlimmad skruv; det mindre värdet av bärförmåga vid dragning eller utdragning. Förankringslängden $l_{ad} = \min(l_{ad,t}; l_{ad,c})$ , se figur till höger.	
$n_r$	är antalet förstärkande skruvar.	
$\alpha$	$= h_e / h$	
$d$	är den gängade delens yttre diameter, $d \leq 20$ mm.	

## Balkar med hål

**Tabell 9.15** Balkar med hål: geometriska krav enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

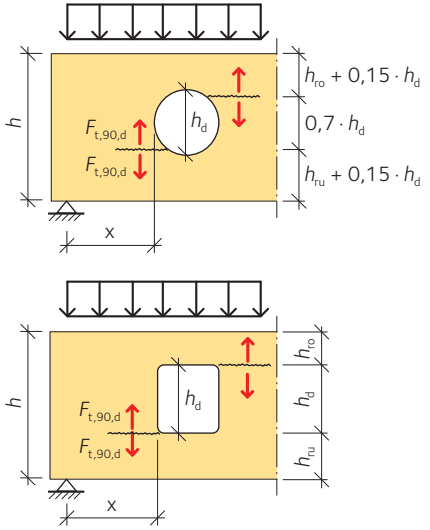
Observera att DIN EN 1995-1-1/NA föreslår  $r \geq 15$  mm. Författarna till *Dimensionering av limträkonstruktioner* föreslår  $r \geq 25$  mm.



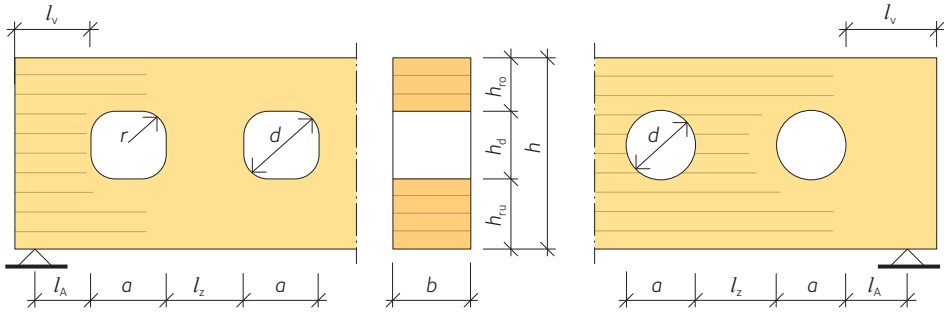
Hål vars diameter $d \leq 50$ mm behöver inte beaktas om de är belägna nära neutralaxeln eller mycket nära övre hörnet vid upplag.						
$l_v \geq h$	$l_z \geq 1,5h$ eller minst 300 mm	$l_A \geq 0,5h$	$h_{ro} \geq 0,35h$ $h_{ru} \geq 0,35h$	$a \leq 0,4h$	$h_d \leq 0,15h$	$r \geq 25$ mm

**Tabell 9.16** Balkar med hål: dimensioneringsvärde för dragkraft vid hålkant enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

$F_{t,90,d} = F_{t,90,V,d} + F_{t,90,M,d}$	
där:	
$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[ 3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right]$	
och	
$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$	
Kontrollera: $\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b} \leq k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}$	
där:	
$V_d$	är dimensioneringsvärdet för tvärkraft vid hålkanten (vid avstånd "x" från upplag).
$M_d$	är dimensioneringsvärdet för böjmoment vid hålkanten (vid avstånd "x" från upplag).
$b$	balkens bredd.
$h_r$	min ( $h_{ro} + 0,15 \cdot h_d$ ; $h_{ru} + 0,15 \cdot h_d$ ) för cirkulära hål.
$h_r$	min ( $h_{ro}$ ; $h_{ru}$ ) för rektangulära hål.
$l_{t,90}$	$0,35 \cdot h_d + 0,5 \cdot h$ för cirkulära hål.
$l_{t,90}$	$0,5 \cdot (h_d + h)$ för rektangulära hål.
$k_{t,90}$	min (1 ; $(450/h)0,5$ ), där $h$ är balkens höjd.



**Tabell 9.17** Balkar med hål förstärkta med hjälp av träskruvar eller inlimmade skruvar: geometriska krav enligt DIN EN 1995-1-1/NA. Observera att DIN EN 1995-1-1/NA föreslår  $r \geq 15$  mm. Författarna till *Dimensionering av limträkonstruktioner* föreslår  $r \geq 25$  mm.

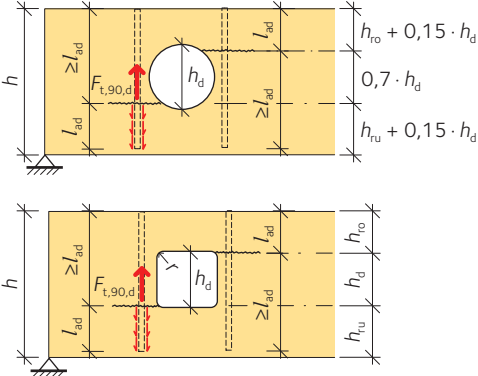


Hål vars diameter  $d \leq 50$  mm behöver inte beaktas om de är belägna nära neutralaxeln eller om de är belägna mycket nära övre hörnet vid upplag.

$l_v \geq h$	$l_z \geq 1,0h$ eller minst 300 mm	$l_A \geq 0,5h$	$h_{r0} \geq 0,25h$ $h_{ru} \geq 0,25h$	$a \leq 1,0h$ $a \leq 2,5h_d$	$h_d \leq 0,30h$ <sup>1)</sup> $h_d \leq 0,40h$ <sup>2)</sup>	$r \geq 25$ mm
--------------	------------------------------------	-----------------	--	----------------------------------	--	----------------

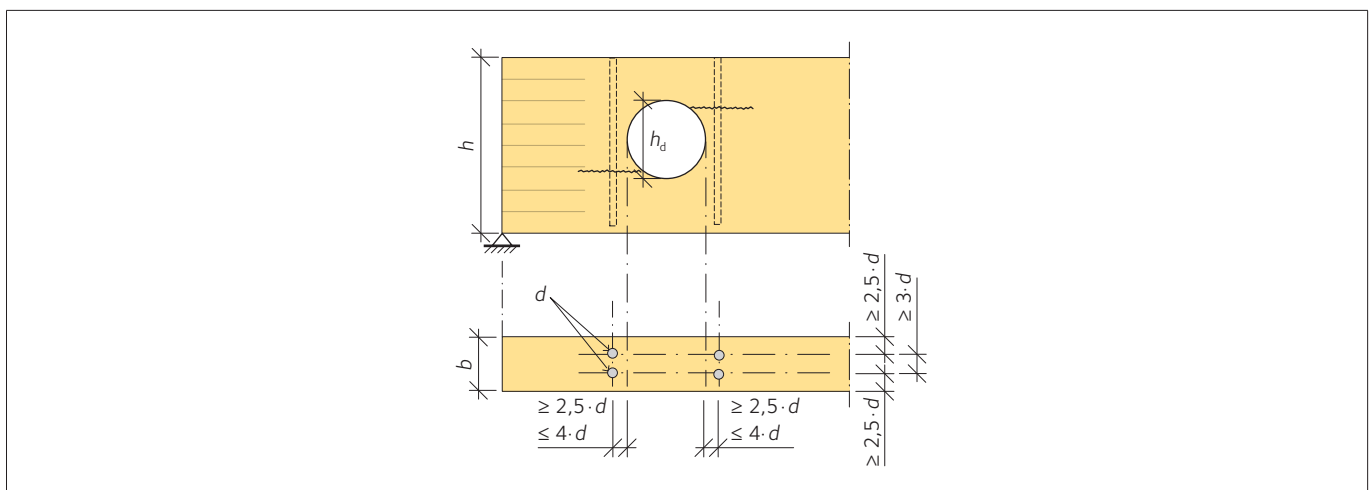
<sup>1)</sup> Gäller för balkar med inre förstärkning.  
<sup>2)</sup> Gäller för balkar med yttre förstärkning.

**Tabell 9.18** Förstärkning av balkar med hål enligt DIN EN 1995-1-1/NA.

Kontrollera: $F_{t,90,d} \leq n_r \cdot R_{t,d}$		
där:		
$F_{t,90,d}$	är dimensioneringsvärdet för dragkraft vinkelrätt fibrerna, se tabell 9.16, sidan 12.	
$R_{t,d}$	är dimensioneringsvärdet för axial bärförmåga för förstärkningen, träskruv/inlimmad skruv; det mindre värdet av bärförmåga vid dragning eller utdragning. Förankringslängden $l_{ad} = \min \{ h_{r0} + 0,15 \cdot h; h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \}$ för cirkulära hål och förankringslängden $l_{ad} = h_{r0}$ eller $h_{ru}$ , för rektangulära hål, se figuren till höger.	
$n_r$	är antalet förstärkande skruvar på ena sidan (vänster eller höger) om hålet.	

Observera att endast en skruvad bör användas i det kritiska tvärsnittet på vardera sidan om hålet, som visas till exempel i tabell 9.19.

**Tabell 9.19** Placering av förstärkande träskruvar eller inlimmade skruvar enligt DIN EN 1995-1-1/NA.



Minimilängden av varje inlimmad skruv är  $2 \cdot l_{ad}$  och den gängade delens yttre diameter är begränsad till  $d \leq 20$  mm.