

# Möjligheter med samverkanskonstruktioner

Stålbyggnadsdagen 2016

2016-10-26

Jan Stenmark



# Samverkanskonstruktioner

## Ofrivillig samverkan

Uppstår utan avsikt eller till följd av sekundära effekter

## Samverkan i bruksgränstillstånd

Konstruktionen måste klara sig utan samverkan i brottgränstillstånd

## Fullständig samverkan

Samverkan mellan stål och betong i alla gränstillstånd

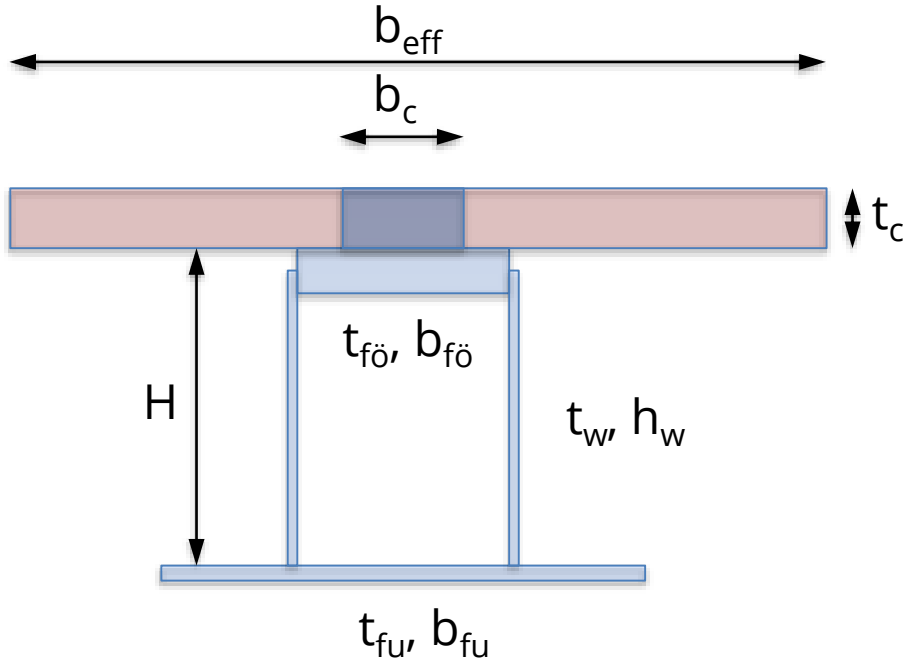
# Konstruktionstyper

- Balkar med samverkande pågjutning utan skjuvförbindare
- Betongfyllda stålrör utan armering

# Bakgrund

- Eurokod 4 (SS-EN 1994-1-1) Allmänna regler
- Eurokod 4 (SS-EN 1994-1-2) Brandteknisk dimensionering

# Hattbalkar med samverkan



- Modulkvoten styr den effektiva bredden är kvoten mellan elasticitetsmodul för stål och betong  $b_c = b_{\text{eff}}/n$
- Den medverkande flänsbredden beror på spännvidd och upplagsförhållanden

# Modulkvoten

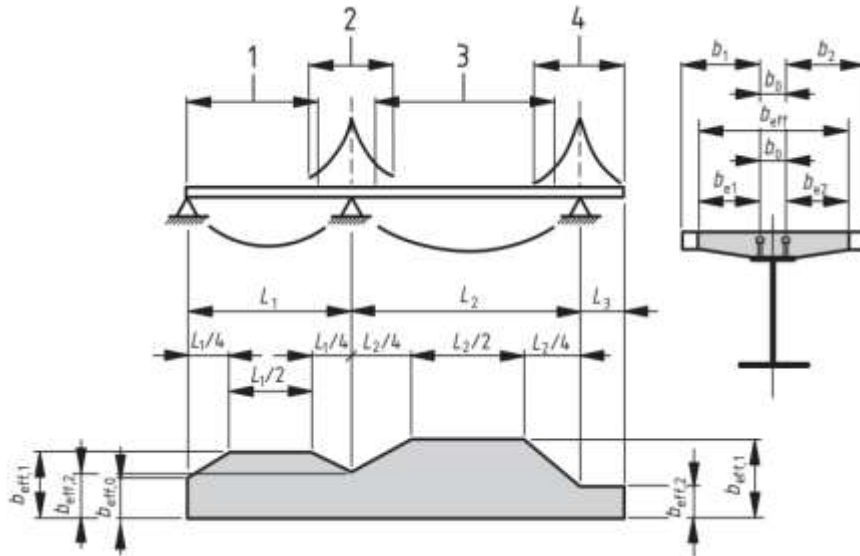
Modulkvoten kan formuleras på olika sätt, se EK4 5.4.2.2:

Generellt 
$$n = n_0 \left( 1 + \frac{M_G}{M_{Ed}} \varphi(t, t_0) \right) \quad n_0 = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Förenklat 
$$n = n_0 (1 + \psi_L \varphi(t, t_0)) \quad \text{Krypfaktorn } \psi_L = 0.55-1.5$$

Mycket förenklat 
$$n = 2n_0$$

# Medverkande bredd



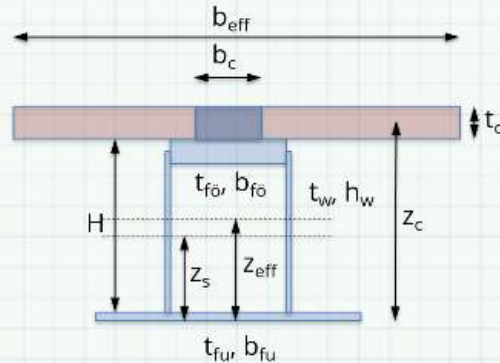
- 1  $L_e = 0,85L_1$  för  $b_{eff,1}$
- 2  $L_e = 0,25(L_1 + L_2)$  för  $b_{eff,2}$
- 3  $L_e = 0,70L_2$  för  $b_{eff,1}$
- 4  $L_e = 2L_3$  för  $b_{eff,2}$

- Generellt gäller att
- $b_{eff} = b_0 + 2L_e/8$  vid tryckzon på båda sidor om balken
- $L_e$  är avståndet mellan momentnollpunkterna
- Den medverkande bredden får vid elastisk analys antas vara konstant i varje spann, se 5.4.1.2 (4)
- $b_0$  är flänsens skjuvarea

# Exempel

## Tvårsnittsdata för hattbalk

### Indata



### Systemets tvärsnittsdata

Balkhöjd  $H := 250 \cdot \text{mm}$

Stålsort S355  $f_y := 355 \cdot \text{MPa}$

Överfläns  $b_{fo} := 200 \cdot \text{mm}$   $t_{fo} := 20 \cdot \text{mm}$

Liv  $t_w := 6 \cdot \text{mm}$   $h_w := H - 7 \cdot \text{mm}$

Underfläns  $b_{fu} := 440 \cdot \text{mm}$   $t_{fu} := 12 \cdot \text{mm}$

### Elastisk spänningsfördelning

$$A_s := b_{fo} \cdot t_{fo} + 2 \cdot t_w \cdot h_w + b_{fu} \cdot t_{fu} = 12196 \text{ mm}^2 \quad g := A_s \cdot 7850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 95.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$z_s := \frac{b_{fo} \cdot t_{fo} \cdot \left( H + t_{fu} + \frac{t_{fo}}{2} \right) + 2 \cdot t_w \cdot h_w \cdot \left( \frac{h_w}{2} + t_{fu} \right) + b_{fu} \cdot \frac{t_{fu}^2}{2}}{2A_s} = 123.7 \text{ mm}$$

$$I_s := b_{fo} \cdot t_{fo} \cdot \left( H + t_{fu} - \frac{t_{fo}}{2} - z_s \right)^2 + b_{fu} \cdot t_{fu} \cdot \left( z_s - \frac{t_{fu}}{2} \right)^2 + 2 \cdot t_w \cdot h_w \cdot \left( \frac{h_w}{2} + t_{fu} - z_s \right)^2$$

$$I_s = (1.39 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$



# Exempel

Böjmotståndet räknas till den mest töjda fibern och den likställs med mittenplanen av respektive fläns, se 6.2.1 (9)

$$e_{\bar{o}} := H + t_{fu} - \frac{t_{f\bar{o}}}{2} - z_s = 128.3 \text{ mm}$$

$$e_u := z_s - \frac{t_{fu}}{2} = 117.7 \text{ mm}$$

$$e_{\min} := \max(e_{\bar{o}}, e_u) = 128.3 \text{ mm}$$

$$W_{el} := \frac{I_s}{e_{\min}} = 1085750 \text{ mm}^3$$

$$\text{Momentkapacitet } M_{el} := f_y \cdot W_{el} = 385.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## Plastisk spänningsfördelning

$$z_{pl} := \frac{b_{f\bar{o}} \cdot t_{f\bar{o}} - b_{fu} \cdot t_{fu}}{4 \cdot t_w} + t_{fu} + \frac{h_w}{2} = 80.2 \text{ mm}$$

$$W_{pl1} := b_{f\bar{o}} \cdot t_{f\bar{o}} \cdot \left( H + t_{fu} - \frac{t_{f\bar{o}}}{2} - z_{pl} \right) + b_{fu} \cdot t_{fu} \cdot \left( z_{pl} - \frac{t_{fu}}{2} \right)$$

$$W_{pl2} := 2 \cdot t_w \cdot \frac{(h_w - z_{pl} + t_{fu})^2}{2} + 2 \cdot t_w \cdot \frac{(z_{pl} - t_{fu})^2}{2} \quad W_{pl} := W_{pl1} + W_{pl2} = 1290214 \text{ mm}^3$$

$$\eta := \frac{W_{pl}}{W_{el}} = 1.19$$

Momentkapacitet

$$M_{pl} := W_{pl} \cdot f_y = 458 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



# Exempel

Exempel med fritt upplagd balk

$$E_s := 210 \text{ GPa} \quad E_{cm} := 30 \text{ GPa} \quad \text{Modulkvot} \quad n := 2 \cdot \frac{E_s}{E_{cm}} = 14 \quad \text{Se 5.4.2.2 (11)}$$

$$L_e := 7.2 \text{ m} \quad q_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \psi_1 := 0.7 \quad g := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad c := 6 \text{ m}$$

$$q_d := (\psi_1 \cdot q_k + g) \cdot c = 15.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$b_c := 2 \cdot \frac{L_e}{8} + b_{fb} = 2000 \text{ mm} \quad b_{\text{eff}} := \frac{b_c}{n} = 142.9 \text{ mm}$$

$$t_c := 40 \text{ mm}$$

$$z_c := H + t_{fu} + \frac{t_c}{2} = 282 \text{ mm}$$

$$z_{\text{eff}} := \frac{b_{\text{eff}} \cdot t_c \cdot z_c + A_s \cdot z_s}{b_{\text{eff}} \cdot t_c + A_s} = 174.2 \text{ mm}$$

$$I_{\text{eff}} := I_s + b_{\text{eff}} \cdot t_c \cdot (z_c - z_{\text{eff}})^2 + A_s \cdot (z_{\text{eff}} - z_s)^2 = (2.4 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

Styvheten ökar med  $\frac{I_{\text{eff}}}{I_s} = 1.7$

# Exempel

Statiskt moment  $S_c := b_{\text{eff}} \cdot t_c \cdot (z_c - z_{\text{eff}}) = 615865.1 \text{ mm}^3$

Tvärkraften är bara påförd egentvingd och nyttig last efter avjämning har gjorts

$$V_{Ed} := q_d \cdot \frac{L_e}{2} = 56.2 \text{ kN}$$

$$\tau_{\text{max}} := \frac{S_c \cdot V_{Ed}}{I_{\text{eff}} \cdot b_{\text{fo}}} = 0.73 \text{ MPa}$$

# Sammanfattning

**weber.floor 140 Nova**

Funktionssprung med klassificering av välförhållande för att säkerställa ett robust slutskick.  
 • Funktionsprung med krav på minimal sprickvidd av sekundära sprickor för golvkonstruktion.  
 Dimension för en A-axel produkt inte nödvändigtvis.

**Måttinformation**

Produkten är utvecklad för att användas som ett alternativ till andra typer av golv. För beräkning av produktstorlek och avfall samt innehållsdeklaration, se byggregisteraren.

**Produktspecifikation**

Produktspecifikation		
Produkttyp/Markering		
Minsta tillåtet	1 mm + 0,2 kg/m <sup>2</sup>	Riktigt antal lag (20 minuter)
Maximal tillåtet	18 mm + 1,2 kg/m <sup>2</sup>	
Material		
20-gångs	2-4 timmar	
30-gångs	3-4 timmar	
40-gångs	5 timmar	
50-gångs	5 timmar	
60-gångs	6 timmar	
70-gångs	6 timmar	
80-gångs	6 timmar	
90-gångs	6 timmar	
100-gångs	6 timmar	
110-gångs	6 timmar	
120-gångs	6 timmar	
130-gångs	6 timmar	
140-gångs	6 timmar	
150-gångs	6 timmar	
160-gångs	6 timmar	
170-gångs	6 timmar	
180-gångs	6 timmar	
190-gångs	6 timmar	
200-gångs	6 timmar	
210-gångs	6 timmar	
220-gångs	6 timmar	
230-gångs	6 timmar	
240-gångs	6 timmar	
250-gångs	6 timmar	
260-gångs	6 timmar	
270-gångs	6 timmar	
280-gångs	6 timmar	
290-gångs	6 timmar	
300-gångs	6 timmar	
310-gångs	6 timmar	
320-gångs	6 timmar	
330-gångs	6 timmar	
340-gångs	6 timmar	
350-gångs	6 timmar	
360-gångs	6 timmar	
370-gångs	6 timmar	
380-gångs	6 timmar	
390-gångs	6 timmar	
400-gångs	6 timmar	
410-gångs	6 timmar	
420-gångs	6 timmar	
430-gångs	6 timmar	
440-gångs	6 timmar	
450-gångs	6 timmar	
460-gångs	6 timmar	
470-gångs	6 timmar	
480-gångs	6 timmar	
490-gångs	6 timmar	
500-gångs	6 timmar	
510-gångs	6 timmar	
520-gångs	6 timmar	
530-gångs	6 timmar	
540-gångs	6 timmar	
550-gångs	6 timmar	
560-gångs	6 timmar	
570-gångs	6 timmar	
580-gångs	6 timmar	
590-gångs	6 timmar	
600-gångs	6 timmar	
610-gångs	6 timmar	
620-gångs	6 timmar	
630-gångs	6 timmar	
640-gångs	6 timmar	
650-gångs	6 timmar	
660-gångs	6 timmar	
670-gångs	6 timmar	
680-gångs	6 timmar	
690-gångs	6 timmar	
700-gångs	6 timmar	
710-gångs	6 timmar	
720-gångs	6 timmar	
730-gångs	6 timmar	
740-gångs	6 timmar	
750-gångs	6 timmar	
760-gångs	6 timmar	
770-gångs	6 timmar	
780-gångs	6 timmar	
790-gångs	6 timmar	
800-gångs	6 timmar	
810-gångs	6 timmar	
820-gångs	6 timmar	
830-gångs	6 timmar	
840-gångs	6 timmar	
850-gångs	6 timmar	
860-gångs	6 timmar	
870-gångs	6 timmar	
880-gångs	6 timmar	
890-gångs	6 timmar	
900-gångs	6 timmar	
910-gångs	6 timmar	
920-gångs	6 timmar	
930-gångs	6 timmar	
940-gångs	6 timmar	
950-gångs	6 timmar	
960-gångs	6 timmar	
970-gångs	6 timmar	
980-gångs	6 timmar	
990-gångs	6 timmar	
1000-gångs	6 timmar	

**Skiktstyrka**

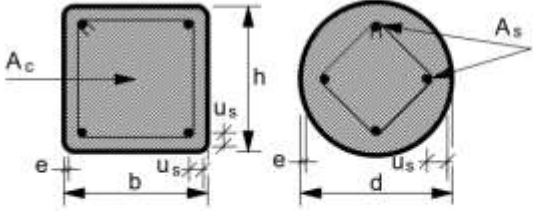
**Skiktstyrka** 1,0 MPa

- Det är rimligt att anta att avjämningsmassan tål skjuvspänningen
- Styvheten ökar betydligt (ca 70%) vilket påverkar både deformationer och egenfrekvens
- Stålbalken kan överhöjas för egentyngd
- Samverkanstvärnsnittet behöver bara dimensioneras för nyttig last och den egentyngd som påförs efter gjutning

# Betongfyllda stålrör

- Rören kan vara armerade eller oarmerade
- För att klara bärförmåga vid brand krävs i allmänhet armering och tvärmått större än 200 mm enligt den förenklade metoden
- Det finns förenklad och generell metod för samverkanspelare i EK4
- Lastinföring kräver eftertanke

# Bärförmåga vid brand

 <p>stältvärsnitt: <math>(b / e) \geq 25</math> eller <math>(d / e) \geq 25</math></p>		Brandteknisk klass				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Minsta tvärsnittsdimension för lastnivå $\eta_{fi,t} \leq 0,28$					
1.1	Minsta dimensionen h och b eller minsta diameter d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Minsta armeringsinnehåll $A_S / (A_C + A_S)$ i (%)	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Minsta centrumavstånd för armering $u_S$ [mm]	–	30	40	50	60
2	Minsta tvärsnittsdimension för lastnivå $\eta_{fi,t} \leq 0,47$					
2.1	Minsta dimensionen h och b eller minsta diameter d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Minsta armeringsinnehåll $A_S / (A_C + A_S)$ i (%)	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Minsta centrumavstånd för armering $u_S$ [mm]	–	30	40	50	60
3	Minsta tvärsnittsdimension för lastnivå $\eta_{fi,t} \leq 0,66$					
3.1	Minsta dimensionen h och b eller minsta diameter d [mm]	260	450	550	–	–
3.2	Minsta armeringsinnehåll $A_S / (A_C + A_S)$ i (%)	3,0	6,0	6,0	–	–
3.3	Minsta centrumavstånd för armering $u_S$ [mm]	25	30	40	–	–

Kapitel 4.2 i EK 4 del 2 ger tabellerade värden för ett flertal konstruktionstyper

# Generella förutsättningar enligt EK4

- Stål S235 till S460
- Betong C20/25 till C50/60
- Stålets bidrag till den sammanlagda bärförmågan bör vara 0.2-0.9
- Bärförmåga, lokal buckling, lastinföring och skjuvning mellan stål och betong måste beaktas

# Förenklad dimensioneringsmetod enligt EK4

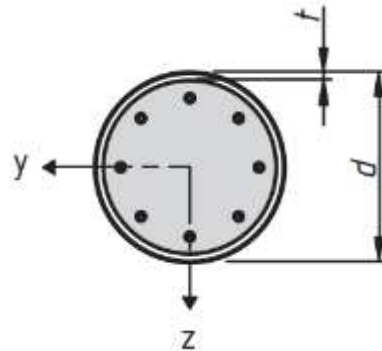
- Slankhet  $\lambda < 2.0$
- Mindre än 6% armeringsarea i förhållande till stålarean
- Största täckskikt för helt ingjutna profiler begränsas till  $0.3h$  respektive  $0.4b$ , se figur 6.17a
- Kvot bredd/höjd mellan 0.2 och 5



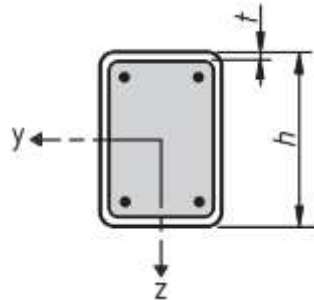
# Lokal buckling

Stålrörets slankhet begränsas till:

$$(d/t) = 90 \frac{235}{f_y}$$



$$(h/t) = 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

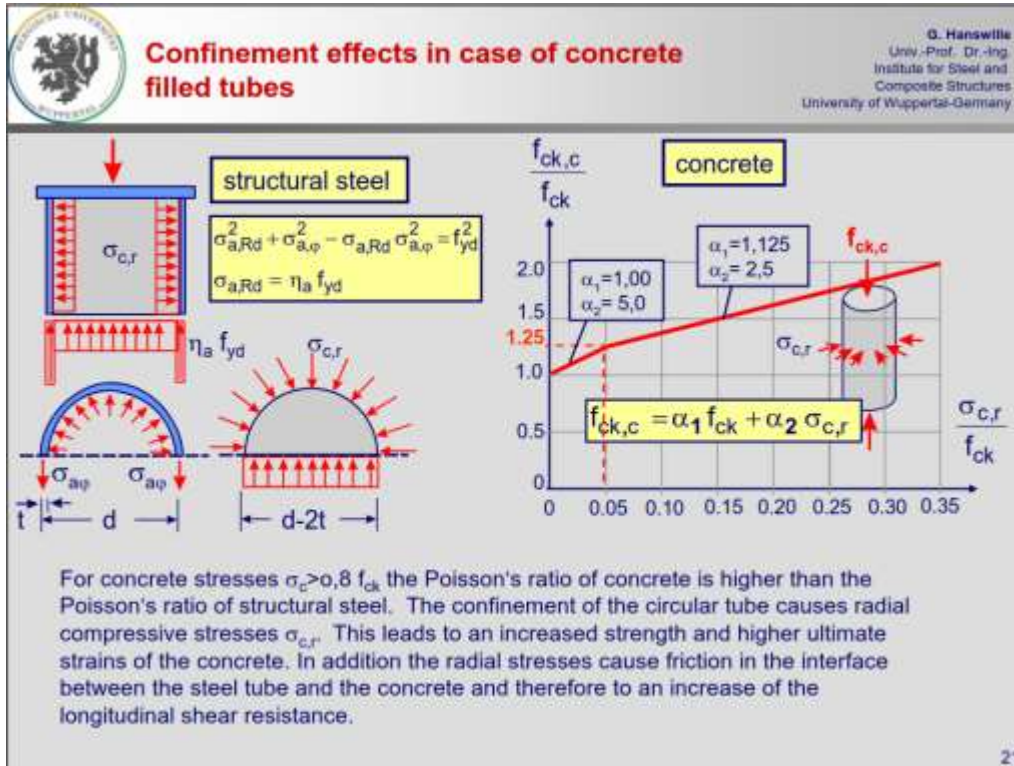


Slankhetsgränserna motsvarar  $d/t=60$  för runda rör och är så pass generösa att det är svårt att hitta rör som inte fungerar!!

Alla runda kall- och varmformade rör i Tibnors katalog fungerar

Alla kvadratiska KKR och VKR uppfyller kravet

# Inverkan av 3-axligt spänningstillstånd



Effekten av inneslutning ger upphov till radiella spänningar som både ger högre tryckhållfasthet och skapar friktion mellan stålröret och betongen

# Plastisk bärförmåga

(6) För betongfyllda runda rör får ökningen av betongens hållfasthet tillgodoräknas på grund av inneslutning förutsatt att den relativa slankheten  $\bar{\lambda}$  enligt 6.7.3.3 inte överstiger 0,5 och  $e/d < 0,1$ , där  $e$  är lastexcentriciteten  $M_{Ed} / N_{Ed}$  och  $d$  är pelarens ytterdiameter. Den plastiska bärförmågan för tryck får då beräknas med följande uttryck:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_s f_{yd} + A_c f_{cd} \left( 1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd} \quad (6.33)$$

För pelare med  $e = 0$  ges värdena  $\eta_a = \eta_{a0}$  och  $\eta_c = \eta_{c0}$  av följande uttryck:

$$\eta_{a0} = 0,25 (3 + 2 \bar{\lambda}) \quad (\text{men } \leq 1,0)$$

$$\eta_{c0} = 4,9 - 18,5 \bar{\lambda} + 17 \bar{\lambda}^2 \quad (\text{men } \geq 0)$$

För tryckt och böjd pelare med  $0 < e/d \leq 0,1$

$$\eta_a = \eta_{a0} + (1 - \eta_{a0}) (10 e/d)$$

$$\eta_c = \eta_{c0} (1 - 10 e/d)$$

För  $e/d > 0,1$ ,  $\eta_a = 1,0$  och  $\eta_c = 0$ .

Inverkan av 3-axligt spänningstillstånd i den förenklade metoden tas genom faktorerna  $\eta_a$  och  $\eta_c$

Faktorerna är empiriska och det blir ingen inverkan av inneslutning om excentriciteten är för stor.

Axiell och tangentiell spänning i röret har alltid olika tecken varför  $\eta_a$  är mindre än noll.

# Styvhet och slankhet

(3) För beräkning av den relativa slankheten  $\bar{\lambda}$  och den elastiska kritiska tryckkraften  $N_{cr}$  bör det karakteristiska värdet för samverkanspelarens effektiva böjstyvhets ( $EI)_{eff}$  beräknas med:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_c E_{cm} I_c \quad (6.40)$$

där:

$K_c$  är en korrektionsfaktor som bör tas som 0,6.

(4) Inverkan av långtidseffekter på den effektiva elastiska böjstyvheten bör beaktas. Betongens elasticitetsmodul  $E_{cm}$  bör reduceras till värdet  $E_{c,eff}$  enligt följande uttryck

$$E_{c,eff} = E_{cm} \frac{1}{1 + (N_{G,Ed} / N_{Ed}) \varphi_t} \quad (6.41)$$

(2) Den relativa slankheten  $\bar{\lambda}$  för betraktat böjningsplan ges av:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

Vid beräkning av styvhet reduceras betongstyvheten till 0.6 och betongens E modul räknas om med effektivt krytval för att ta hänsyn till långtidseffekter

Slankheten är som alltid förhållandet mellan plastisk och kritisk bärförmåga

# Dimensionerande bärförmåga

(2) Som en förenkling för tryckbelastade bärverksdelar bör normalkraftens dimensioneringsvärde  $N_{Ed}$  uppfylla

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.44)$$

där:

$N_{pl,Rd}$  är plastisk bärförmåga för samverkansvärsnittet enligt 6.7.3.2(1), men med  $f_{yd}$  bestämd med partialkoefficienten  $\gamma_{M1}$  enligt EN 1993-1-1; 6.1(1)

**Tabell 6.5 – Knäckningskurvor och intialkrokighet för samverkanspelare**

Tvärsnitt	Gränser	Knäcknings-axel	Knäcknings-kurva	Initial-krokighet
Betongfyllt rör 	$\rho_s \leq 3\%$	alla	a	$L/300$
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	alla	b	$L/200$

För beräkning av bärförmåga används reduktionsfaktorer och knäckkurvor enligt ståleurokoden

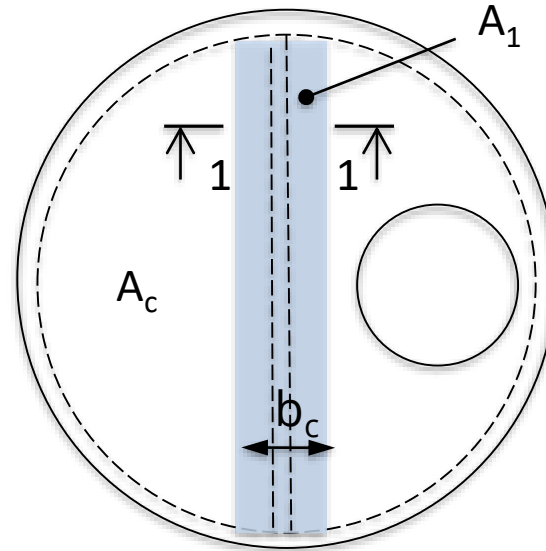
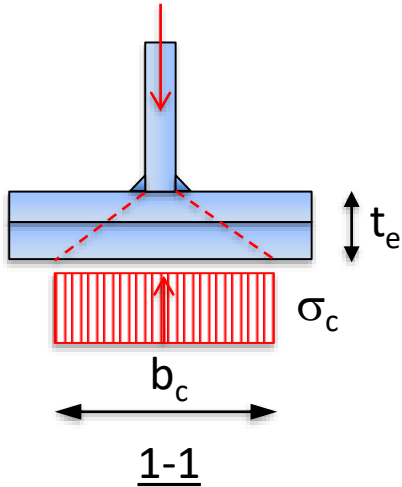
Runda rör utan längsgående armering hänförs till knäckkurva a

# Lastinföring

Tryckspänningen i betongen där lasten förs in begränsas till:

$$\sigma_{c,Rd} = f_{cd} \left( 1 + \eta_{cl} \frac{t f_y}{a f_{ck}} \right) \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \leq \frac{A_c f_{cd}}{A_1} \leq f_{yd}$$

I en toppplåt på en rund samverkanspelare blir den area som belastas:



# Exempel

Beräkning av centriskt belastad samverkanspelare av betongfyllt stålrör utan transversella laster enligt EN 1994-1-1

Exempel

## Laster

Axialkraft  $N_d := 1.56 \cdot \text{MN}$       Längd  $L_e := 2.2 \cdot \text{m}$

Permanent lastandel  $N_{dG} := 0.77 \cdot \text{MN}$

## Geometri och material

Stålrör  $d := 219.1 \cdot \text{mm}$        $t := 8 \cdot \text{mm}$        $f_y := 355 \cdot \text{MPa}$        $E_s := 210 \cdot \text{GPa}$

Betong C50  $f_{ck} := 50 \cdot \text{MPa}$        $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.5} = 33.3 \text{ MPa}$        $E_{cm} := 35 \cdot \text{GPa}$

Kryptal  $\varphi := 2$

# Exempel

## Kontroll av lokal buckling

Gränsvärde för godstjocklek  $\varepsilon := \frac{235 \cdot \text{MPa}}{f_y} = 0.7$        $t_{\min} := \frac{d}{90 \cdot \varepsilon^2} = 5.6 \text{ mm}$

Vald profil kan användas

## Tvärsnittsdata

$$A_a := \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - (d - 2 \cdot t)^2) = 5306 \text{ mm}^2$$

$$I_a := \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - (d - 2 \cdot t)^4) = 0.00003 \text{ m}^4$$

$$A_c := \frac{\pi}{4} \cdot (d - 2 \cdot t)^2 = 32397 \text{ mm}^2$$

$$I_c := \frac{\pi}{64} \cdot (d - 2 \cdot t)^4 = 0.000084 \text{ m}^4$$

Effektiv E-modul  $E_{\text{eff}} := E_{\text{cm}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{dG}}{N_d} \cdot \varphi} = 17.6 \text{ GPa}$

Effektiv böjstyvhet  $EI_{\text{eff}} := E_s \cdot I_a + 0.6 \cdot E_{\text{eff}} \cdot I_c = 7.1 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$

Kritisk knäcklast  $N_{\text{cr}} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{\text{eff}}}{L_c^2} = 14.5 \text{ MN}$

$N_{\text{pIRk}} := A_a \cdot f_y + 1.0 \cdot A_c \cdot f_{ck} = 3.5 \text{ MN}$

Slankhet  $\lambda := \sqrt{\frac{N_{\text{pIRk}}}{N_{\text{cr}}}} = 0.492$



## Exempel

För att få tillgodoräkna sig effekten av betongens inneslutning krävs att slankheten är mindre än 0.5 och att  $e/d < 0.1$ .

$$\eta_a := 0.25 \cdot (3 + 2 \cdot \lambda) = 0.996$$

$$\eta_c := 4.9 - 18.5 \cdot \lambda + 17 \cdot \lambda^2 = -8.7 \cdot 10^{-2} \quad \eta_c := 0$$

$$N_{pIRd} := \eta_a \cdot A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{cd} \cdot \left( 1 + \eta_c \cdot \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right) = 2.96 \text{ MN}$$

Knäckning enligt kurva a  $\phi := 0.5 \cdot (1 + 0.21 \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.7$

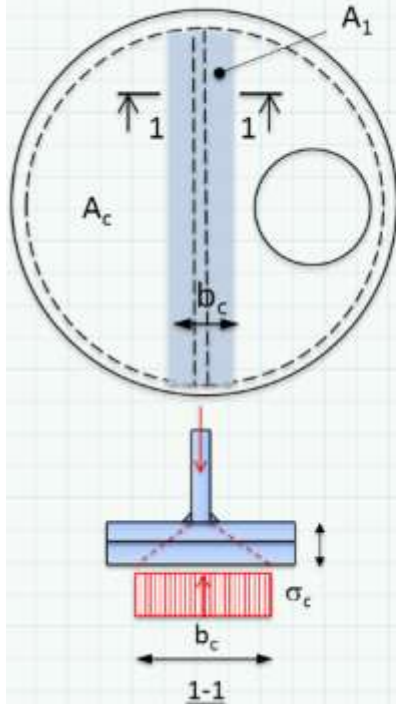
$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = 0.93$$

$$N_{bRd} := \chi \cdot N_{pIRd} = 2.74 \text{ MN}$$

Som jämförelse tål samma rör utan betongfyllning 1.7 MN så samverkan ökar bärförmågan med drygt 60%.

# Exempel

## Lastinföring



Lasten förs in genom en topplåt som är 20 mm tjock och på topplåten ligger en balk med 10 mm tjock underfläns och liv som är 10 mm tjockt.

Topplåten förses med ett gjuthål som är ca 60 mm i diameter.

$$t_e := 30 \text{ mm} \quad t_s := 10 \text{ mm}$$

$$b_c := t_s + 5 \cdot t_e = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Gjuthål} \quad d_0 := 60 \text{ mm}$$

## Exempel

Belastad area (ungefär)  $A_1 := 0.8 \cdot b_c \cdot (d - 2 \cdot t) = 25996.8 \text{ mm}^2$

Om hela kraften förs in i betongen erhålls  $\sigma_c := \frac{N_{bRd}}{A_1} = 105.4 \text{ MPa}$

$A_c := \frac{\pi}{4} \cdot (d - 2 \cdot t)^2 = 32397 \text{ mm}^2$   $\eta_{cL} := 4.9$

$\sigma_{cRd} := f_{cd} \cdot \left( 1 + \eta_{cL} \cdot \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right) \cdot \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} = 84.5 \text{ MPa}$  +

Vi räknar bort den kraft som förs in i röret direkt

$F_s := 2 \cdot b_c \cdot t \cdot f_y = 908.8 \text{ kN}$

Nu blir spänningen  $\sigma_c := \frac{N_{bRd} - F_s}{A_1} = 70.4 \text{ MPa}$