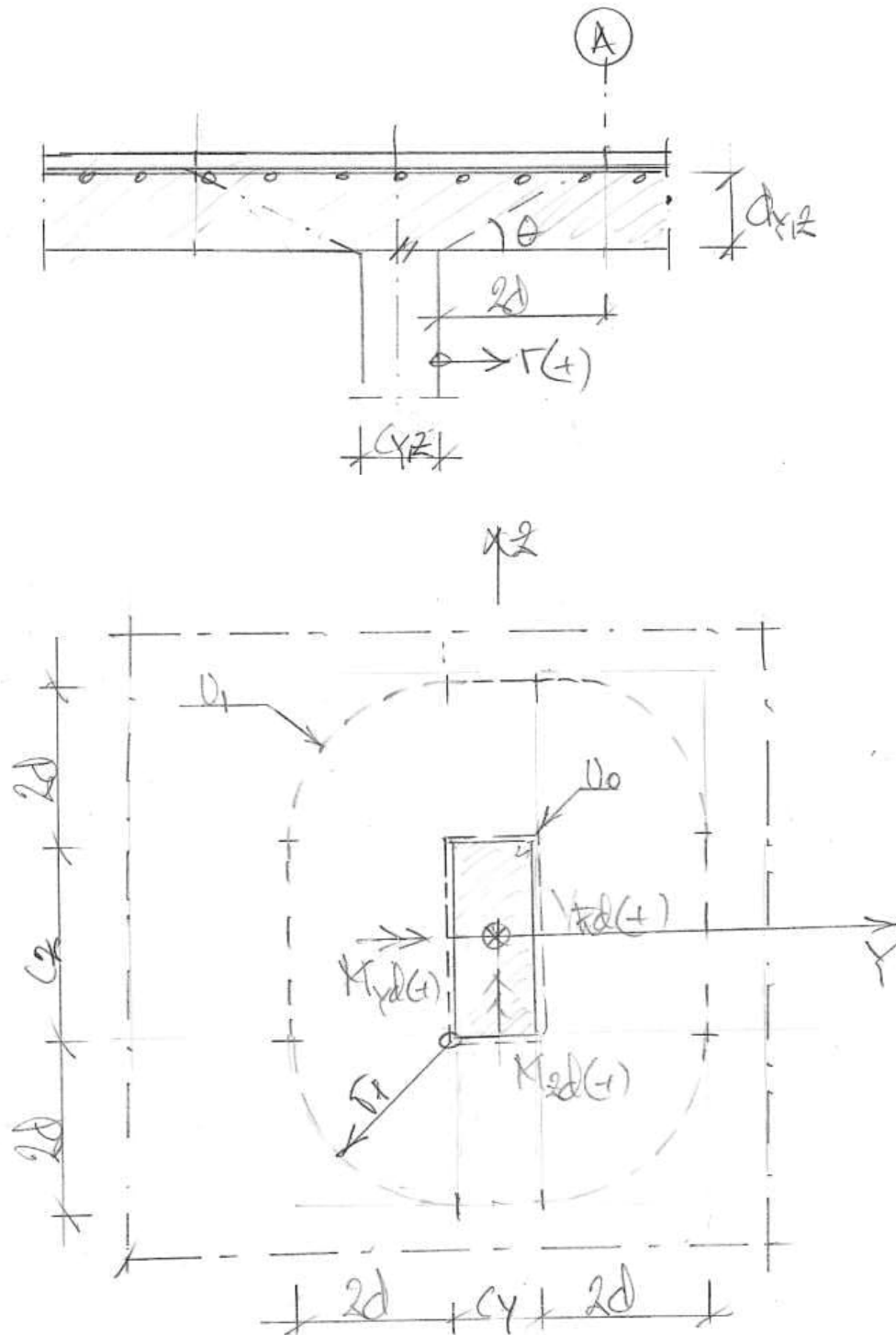


Object: Test

Verification of punching of inner column according to SS-EN 1992-1-1 section 6.4 & 9.4.3.

PRINCIPAL SKETCH



THEORY**Highest permissible punching load**

Innan kontroll av huruvida skjuvarmering erfordras eller inte måste kontroll av maximalt tillåten last enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.3 punkt a utföras. Om detta krav inte uppfylls måste last och/eller geometrin justeras.

Slab without shear reinforcement

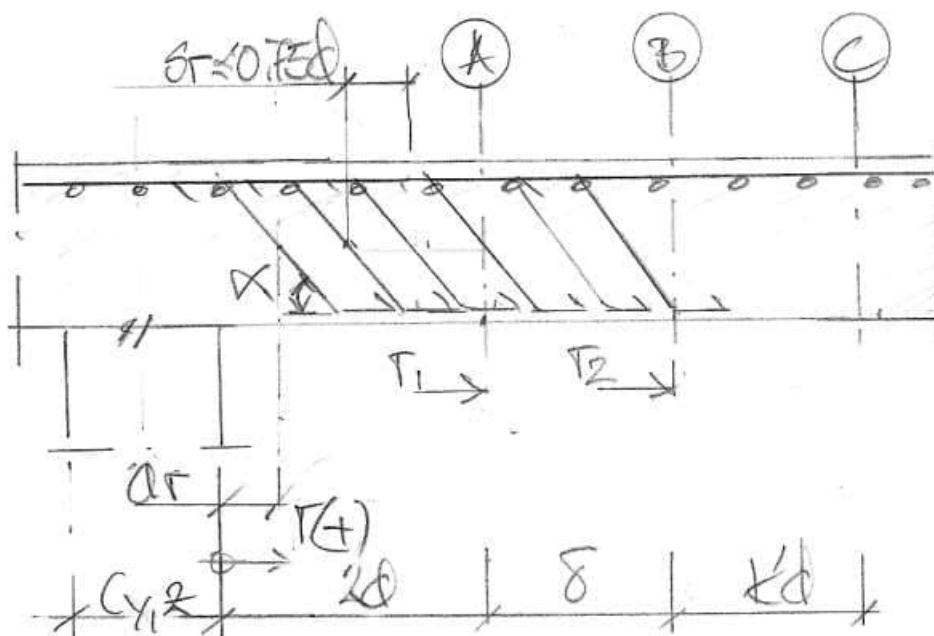
Då $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ erfordras ingen skjuvarmering. Dimensionerande snittet betecknas A och anses beläget på avståndet $r_1 = 0.5c + 2d$ ifrån pelarcentrum. Tillhörande perimeter betecknas u_1 .

Slab with shear reinforcement

Då $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ erfordras skjuvarmering. Detta beräkningsark förutsätter att skjuvarmeringen utformas ortogonalt enligt figurer nedan.

Om skjuvarmering erfordras så kontrolleras bärförmågan i totalt 3 st snitt enligt redovisning nedan.

- 1.) Snitt betecknat A beläget vid $r_1 = 0.5c + 2d$ används för bestämning av erforderlig skjuvarmering. Tillhörande perimeter betecknas u_1 .
- 2.) Snitt betecknat B beläget vid $r_2 = r_1 + \delta$ används för att bestämma utbredning av skjuvarmering. Avståndet till snitt betecknat C är lika med $k'd$. Tillhörande perimeter betecknas $u_{out,ef}$. Om snitt A är beläget närmare än $k'd$ så sammanfaller snitt B med snitt A vilket motsvarar $\delta = 0$ m.
- 3.) Snitt betecknat C har en perimeter som betecknas $u_{out,ef}$. Kontroll utförs för att påvisa att betongens skjuvhållfastheten exklusive skjuvarmering motsvarar uppträdande lasteffekt dvs $v_{Ed} = v_{Rd,c}$.



INPUT

Betong

Kvalitet (C30/37, C35/45, C40/50 , C45/55 och C50/60) :

BTG = "C30/37"

Materialkoefficient betong :

$\gamma_c = 1.50$: brottgränstillstånd / ULS enligt EC2-1-1 tabell 2.1N

Korrektionsfaktorer betonghållfasthet :

$\alpha_{cc} = 1.00$

Material coefficient reinforcement

$\gamma_s = 1.15$: brottgränstillstånd / ULS enligt EC2-1-1 tabell 3.1

Böjarmering i överkant

Armering i y-riktning

Armeringsdimension ($\phi 10, \phi 12, \phi 16, \phi 20, \phi 25$ och $\phi 32$) : $\phi_y = 16\text{mm}$

Avstånd mellan armeringsjärn : $s_y = 150\text{mm}$

Effektiv höjd : $d_y = 1050\text{mm} - 50\text{mm} - \frac{\phi_y}{2} = 992\text{mm}$

Armeringskvalitet (B500 och Ks60) : $TYP_y = \text{"B500"}$

Armering i z-riktning

Armeringsdimension ($\phi 10, \phi 12, \phi 16, \phi 20, \phi 25$ och $\phi 32$) : $\phi_z = 16\text{mm}$

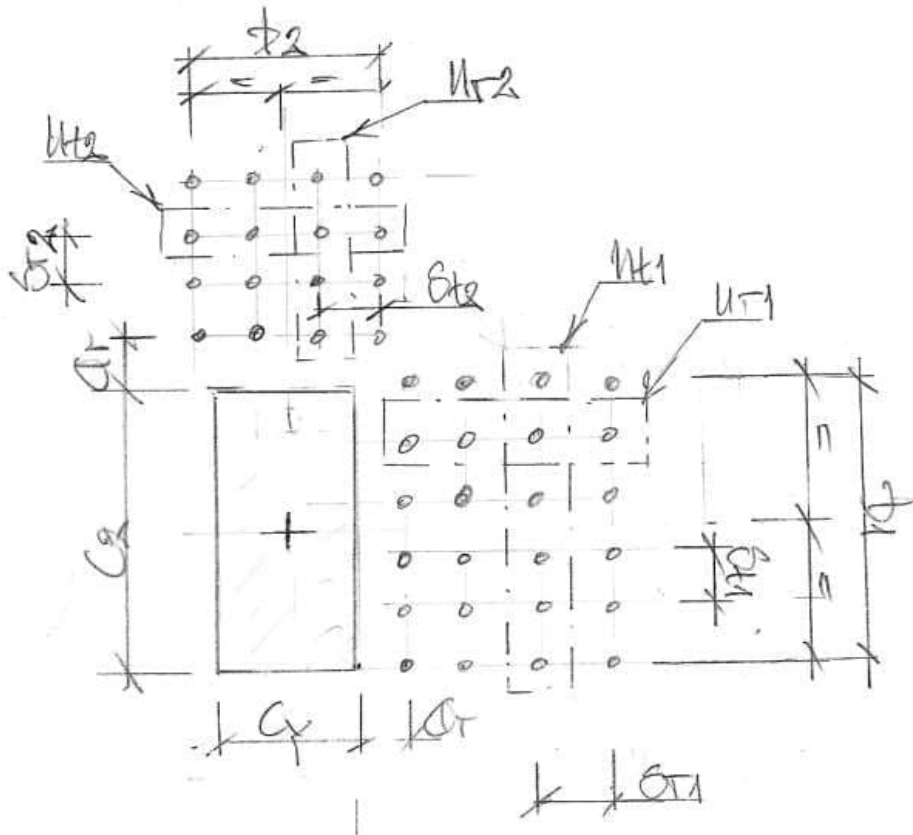
Avstånd mellan armeringsjärn : $s_z = 150\text{mm}$

Effektiv höjd : $d_z = d_y - \phi_z = 976\text{mm}$

Armeringskvalitet (B500 och Ks60) : $TYP_z = \text{"B500"}$

Skjuvarmering

(Figur nedan avser skjuvarmering för två kvadranter av totalt fyra)



Armeringsdimension ($\phi 10, \phi 12, \phi 16, \phi 20, \phi 25$ och $\phi 32$) :	$\phi_{sw} = 12\text{mm}$
Armeringskvalitet (B500 och Ks60):	TYP _w = "B500"
Lutning av skänklar(vertikala skänklar motsvara $\alpha = 90$ deg):	$\alpha = 90\text{deg}$
Faktor som anger största av till snitt som inte erfordrar skjuvarmering:	$k' = 1.5$
Avståndet till första skänkel i "radiell" riktning ($a_{\min} = 0.3d$):	$a_r = 300\text{mm}$
Antalet skänklar i "radiell" inom område l_1 :	$n_{r,1} = 2\text{st}$
Antalet skänklar i "radiell" inom område l_2 :	$n_{r,2} = 2\text{st}$
Bredd i "tangentiell" riktning inom område l_1 :	$b_1 = 1000\text{mm}$
Bredd i "tangentiell" riktning inom område l_2 :	$b_2 = 600\text{mm}$
Antalet skänklar i "tangentiell" riktning inom område l_1 :	$n_{t,1} = 2\text{st}$
Antalet skänklar i "tangentiell" riktning inom område l_2 :	$n_{t,2} = 2\text{st}$

Geometri pelare

Bredd i y-riktning :	$c_y = 800\text{mm}$
Bredd i z-riktning :	$c_z = 1500\text{mm}$

Aktuella laster

Antalet lastkombinationer : $n = 3$ st

Lk	V_{Ed}	M_{Eyd}	M_{Ezd}
1	700	300	300
2	800	200	200
3	900	0	0
-	kN	kNm	kNm

Indatakvitto

$$f_{ck} = 30.0 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{cd} = 20.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_y = 16 \cdot \text{mm}$$

$$f_{yk.y} = 500 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{yd.y} = 435 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_z = 16 \cdot \text{mm}$$

$$f_{yk.z} = 500 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{yd.z} = 435 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_{sw} = 12 \cdot \text{mm}$$

$$f_{yk.w} = 500 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ywd} = 435 \cdot \text{MPa}$$

CALCULATIONS

Armeringsinnehåll

$$A_{s_y} = \frac{1}{s_y} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_y}{2} \right)^2 = 1340 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\rho_y = \frac{A_{s_y}}{d_y} = 0.001$$

$$A_{s_z} = \frac{1}{s_z} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_z}{2} \right)^2 = 1340 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\rho_z = \frac{A_{s_z}}{d_z} = 0.001$$

$$\sqrt{\rho_y \cdot \rho_z} = 0.001$$

$$\rho = \min(\sqrt{\rho_y \cdot \rho_z}, 0.02) = 0.001$$

Effektiv höjd

(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekvation 6.32)

$$d = \frac{d_y + d_z}{2} = 984 \cdot \text{mm}$$

Stålspanning (väljs P.S.S !) :

$$f_{yk} = \min(f_{yk,y}, f_{yk,z}) = 500 \cdot \text{MPa}$$

Lastexcentrisiteter

$$e_y = \frac{M_{Ezd}}{V_{Ed}} \quad e_y = (429 \ 250 \ 0) \cdot \text{mm}$$

$$e_z = \frac{M_{Eyd}}{V_{Ed}} \quad e_z = (429 \ 250 \ 0) \cdot \text{mm}$$

Excentrisitetsfaktor

(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekvation 6.43)

$$b_y = 2d + c_y + 2d = 4.736 \text{ m}$$

$$b_z = 2d + c_z + 2d = 5.436 \text{ m}$$

$$\beta = 1 + 1.8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z} \right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y} \right)^2} \quad \beta = (1.22 \ 1.13 \ 1.00)$$

Dimensionerande lasteffekt inkl. excentrisitetsfaktor

$$V'_{Ed} = V_{Ed} \cdot \beta$$

$$V'_{Ed} = (851 \ 901 \ 900) \cdot \text{kN}$$

$$V'_{Ed, \max} = \max(V'_{Ed}) = 901 \cdot \text{kN}$$

Funktion - perimeter för kontrollsnitt

(Enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4)

$$u(r) = 2(c_y + c_z) + 2\pi \cdot r$$

Kalibrerings- och säkerhetsfaktor

(Enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.4)

$$C_{Rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

Storleksfaktor vid bestämning av betongens skjuvhållfasthet

(Enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.4)

$$k_c = \min\left(1 + \sqrt{\frac{0.2}{d} \cdot m}, 2.0\right) = 1.45$$

Betongens minsta skjuvhållfasthet

(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.3N)

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k_c \cdot \sqrt[3]{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} = 335 \cdot \text{kPa}$$

Betongens dimensionerande hållfasthet

(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.47)

$$C_{Rdc} \cdot k_c \cdot \left(100 \cdot \rho \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} = 278 \cdot \text{kPa}$$

$$v_{Rd,c} = \max\left[C_{Rdc} \cdot k_c \cdot \left(100 \cdot \rho \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa}, v_{\min}\right] = 335 \cdot \text{kPa}$$

Kontroll av maximalt tillåten genomstansningslast : $r = r_0$

$$u_0 = u(0m) = 4.6m \quad : \text{perimeter}$$

$$v_{Ed.0} = \frac{V'_{Ed.max}}{u_0 \cdot d} = 199 \cdot kPa \quad : \text{dimensionerande lasteffekt}$$

$$v = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250MPa} \right) = 0.528 \quad : \text{enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.6N}$$

$$v_{Rd.max.1} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 5280 \cdot kPa \quad : \text{enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.5}$$

$$u_1 = u(2 \cdot d) = 16.965m \quad : \text{perimeter}$$

$$v_{Rd.max.2} = 1.6 \cdot v_{Rd.c} \cdot \frac{u_1}{u_0} = 1977 \cdot kPa \quad : \text{enligt SS-EN 1992-1-1 bilaga NA avsnitt 6.4.5}$$

$$v_{Rd.max} = \min(v_{Rd.max.1}, v_{Rd.max.2}) \quad : \text{enligt SS-EN 1992-1-1 bilaga NA avsnitt 6.4.5}$$

Då $v_{Rd.max} = 1977 \cdot kPa > v_{Ed.0} = 199 \cdot kPa$ så uppfylls kravet för maximalt tillåten genomstansningslast enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.3 punkt a.

Kontroll av plattan utformad utan skjuvarmering : snitt A ($r = r_1$)

Dimensionerande lasteffekt

$$v_{Ed.1} = \frac{V'_{Ed.max}}{u_1 \cdot d} = 54 \cdot kPa \quad : \text{enligt SS-EN 1992-1-1 ekvation 6.38}$$

Kontroll av bärförmåga

Då $v_{Rd.c} = 335 \cdot kPa > v_{Ed.1} = 54 \cdot kPa$ så erfordras skjuvarmering enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.3 punkt b.

Kontroll av plattan utformad med skjuvarmering : snitt A (r = r₁)

Skjuvarmeringens effektiva skjuvhållfasthet
(Enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.5)

$$250\text{MPa} + 0.25 \cdot \frac{d}{\text{mm}} \cdot \text{MPa} = 496 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ywd.ef} = \min\left(250\text{MPa} + 0.25 \cdot \frac{d}{\text{mm}} \cdot \text{MPa}, f_{ywd}\right) = 435 \cdot \text{MPa}$$

Erforderligt skjuvarmeringsbehov (totalt inom de fyra kvadranterna)
(Härledning enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.52 där s_r = 1.5d tillämpats på säker sida)

$$\Sigma A_{sw.erf} = \frac{(v_{Ed.1} - 0.75v_{Rd.c}) \cdot u_1 \cdot d}{f_{ywd.ef} \cdot \sin(\alpha)} = 7575 \cdot \text{mm}^2$$

Skänklar i "radiell" riktning

Största tillåtna avståndet i "radiell" riktning : s_{r,max} = 0.75d = 738·mm

Avstånd mellan skänklar i "radiell" riktning :

$$s_{r.1} = \frac{2d - a_r}{n_{r.1} - 1} = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

$$s_{r.2} = \frac{2d - a_r}{n_{r.2} - 1} = 2 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

Då s_r = max(s_{r.1}, s_{r.2}) = 2 × 10³·mm < s_{r,max} = 738 mmså uppfylls kravet !

Skänklar i "tangentiell" riktning

Största tillåtna avståndet i "tangentiell" riktning : s_{t,max} = 2d = 2190 mm

Avstånd mellan skänklar i "tangentiell" riktning :

$$s_{t.1} = \frac{b_1}{n_{t.1} - 1} = 1000 \cdot \text{mm}$$

$$s_{t.2} = \frac{b_2}{n_{t.2} - 1} = 600 \cdot \text{mm}$$

Då s_t = max(s_{t.1}, s_{t.2}) = 1000mm < s_{t,max} = 1968mmså uppfylls kravet !

Vald skjuvarmeringsbehov (totalt inom de fyra kvadranterna)

$$\Sigma A_{sw} = 2 \cdot (n_{r,1} \cdot n_{t,1} + n_{r,2} \cdot n_{t,2}) \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{sw}^2}{4}$$

Då $\Sigma A_{sw} = 1810 \cdot \text{mm}^2 > \Sigma A_{sw,erf} = 7575 \cdot \text{mm}^2$ så uppfylls kravet !

Kontroll av minsta dimension hos skänklar
(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 9.11)

$$A_{sw,min,1} = 0.08 \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \cdot \frac{\text{MPa}}{f_{yk,w}}} \cdot \frac{s_{r,1} \cdot s_{t,1}}{1.5 \sin(\alpha) + \cos(\alpha)} = 975 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{sw,min,2} = 0.08 \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \cdot \frac{\text{MPa}}{f_{yk,w}}} \cdot \frac{s_{r,2} \cdot s_{t,2}}{1.5 \sin(\alpha) + \cos(\alpha)} = 585 \cdot \text{mm}^2$$

$$\phi_{sw,min} = \max \left[\sqrt{\frac{4 \cdot A_{sw,min,1}}{\pi}}, \left(\sqrt{\frac{4 \cdot A_{sw,min,2}}{\pi}} \right) \right] = 35 \cdot \text{mm}$$

Då $\phi_{sw} = 12 \cdot \text{mm} > \phi_{sw,min} = 35 \cdot \text{mm}$ så uppfylls kravet !

Punching of rectangular inner column

PROG B1.011/ 2002-03-06

Kontroll av utbreddningsområde platta med skjuvarmering erfordras

Om snitt C är beläget närmare än avståndet $k \cdot d$ ifrån snitt A så sammanfaller snitt B med snitt A vilket motsvarar $\delta = 0$ m. Om avståndet är större så måste utbreddning av skjuvarmeringen utökas avståndet δ ifrån snitt A.

$$\delta = 0.35 \text{ m} \quad r = 2d + \delta = 2.318 \text{ m}$$

Delperimeter betecknad l_1 enligt figur

$$\frac{y_1 \cdot \cos(\beta_1) - y_2}{1 - \cos(\beta_1)} = \frac{z_2 - y_1 \cdot \sin(\beta_1)}{\sin(\beta_1)} \quad \text{solve, } \beta_1 \rightarrow 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{y_1 - y_2}{z_2} \right)$$

$$y_1 = 0.5c_y + r + k \cdot d = 4.194 \text{ m}$$

$$y_2 = 0.5c_y + 0.5(r + c_z) + \frac{k \cdot d}{\sqrt{2}} = 3.353 \text{ m}$$

$$z_2 = 0.5r + \frac{k \cdot d}{\sqrt{2}} = 2.203 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 2 \cdot \text{atan} \left(\frac{y_1 - y_2}{z_2} \right) = 42 \cdot \text{deg}$$

$$R_1 = \frac{z_2}{\sin(\beta_1)} = 3.304 \text{ m}$$

$$\Delta y = R_1 - y_1 = -0.89 \text{ m}$$

$$l_1 = 2\beta_1 \cdot R_1 = 4.822 \text{ m}$$

Delperimeter betecknad l_2 enligt figur :

$$\frac{z_4 - z_3 \cdot \cos(\beta_2)}{1 - \cos(\beta_2)} = \frac{z_3 \cdot \sin(\beta_2) - y_4}{\sin(\beta_2)} \text{ solve, } \beta_2 \rightarrow 2 \cdot \text{atan}\left(\frac{z_3 - z_4}{y_4}\right)$$

$$z_3 = 0.5c_z + r + k' \cdot d = 4.544 \text{ m}$$

$$y_4 = 0.5r + \frac{k' \cdot d}{\sqrt{2}} = 2.203 \text{ m}$$

$$z_4 = 0.5c_z + 0.5(r + c_y) + \frac{k' \cdot d}{\sqrt{2}} = 3.353 \text{ m}$$

$$\beta_2 = 2 \cdot \text{atan}\left(\frac{z_3 - z_4}{y_4}\right) = 57 \cdot \text{deg}$$

$$R_2 = \frac{y_4}{\sin(\beta_2)} = 2.632 \text{ m}$$

$$\Delta z = z_3 - R_2 = 1.912 \text{ m}$$

$$l_2 = 2\beta_2 \cdot R_2 = 5.22 \text{ m}$$

Total effektiv perimeter
(Enligt SS-EN 1992-1-1 avsnitt 6.4.5)

$$u_{\text{out.ef}} = 2(l_1 + l_2) = 20.08 \text{ m}$$

Kontroll av bärförmåga
(Enligt SS-EN 1992-1-1 ekv. 6.54)

$$v_{\text{Ed.out}} = \frac{V_{\text{Ed.max}}}{u_{\text{out.ef}} \cdot d}$$

För $\delta = 0.35 \cdot \text{m}$ uppfylls kravet $v_{\text{Ed.out}} = 46 \cdot \text{kPa} < v_{\text{Rd.c}} = 335 \cdot \text{kPa}$