

Spis treści

1	Parametry wejściowe	2
2	Obliczenia wspólne dla wszystkich przypadków	4
3	Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego wewnętrznego	7
4	Obliczenie w przypadku słupa okrągłego wewnętrznego	9
5	Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego krawędziowego	11
6	Obliczenie w przypadku słupa okrągłego krawędziowego	13
7	Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego narożnego	15
8	Obliczenie w przypadku słupa okrągłego narożnego	17
9	Obliczenie w przypadku końca ściany	19
10	Obliczenie w przypadku naroża ściany	19
11	Momenty statyczne i środek ciężkości	21

1 Parametry wejściowe

- (a) f_{ck} [MPa] (dla badań naukowych f_{cm}) klasa wytrzymałości betonu
- (b) $\gamma_c = 1.4$ (EN-PN) lub $\gamma_c = 1.5$ (EN) współczynnik częściowy dla betonu
- (c) f_{yk} [MPa] (dla badań naukowych f_{ym}) granica plastyczności zbrojenia podłużnego
- (d) $f_{ywk} = 500$ MPa (dla badań f_{ywm}) granica plastyczności zbrojenia poprzecznego
- (e) $\gamma_s = 1.15$ współczynnik częściowy dla stali
- (f) $k_{max} = 1.40/1.50/1.70/1.90/1.96$ współczynnik zależny od rodzaju zbrojenia na przebicie
- (g) $\beta = 1.15/1.40/1.50/1.35/1.20$ współczynnik zwiększający obciążenie
(słup wewnętrzny / krawędziowy / narożny / krawędź ściany / naroże ściany)
- (h) $\delta = 1.2 \in [1, 10]$ współczynnik dynamiczny (dynamic load)
- (i) c_{upp}, c_{low} [mm] górna i dolna otulina zbrojenia (w obliczeniach przyjąć $c_{nom} := c_{upp}$)
- (j) h [mm] grubość płyty
- (k) zbrojenie w kierunku y
- ϕ_y [mm], s_y [mm] średnica i rozstaw prętów
 - ϕ_y [mm], A_{sy} [$\frac{cm^2}{m}$] średnica prętów i przekrój zbrojenia
 - ϕ_y [mm], ρ_{ly} [%] średnica prętów i stopień zbrojenia
- (l) zbrojenie w kierunku x
- ϕ_x [mm], s_x [mm] średnica i rozstaw prętów
 - ϕ_x [mm], A_{sx} [$\frac{cm^2}{m}$] średnica prętów i przekrój zbrojenia
 - ϕ_x [mm], ρ_{lx} [%] średnica prętów i stopień zbrojenia
- (m) M_{Edx}, M_{Edy} [kNm] momenty w płaszczyźnie osi OX i OY
w przypadku końca ściany oraz naroża ściany momenty M_{Edx}, M_{Edy} nie występują
- (n) V_{Ed} [kN] siła w złączu
- (o) ϕ_{sw} [mm] średnica zbrojenia na ścinanie
- (p) c_x [mm] szerokość przekroju słupa
- (q) c_y [mm] długość przekroju słupa
- (r) d_c [mm] średnica przekroju słupa

(s) b_c [mm] grubość ściany

(t) l_x, l_y [mm] przewieszenie (odległość krawędzi od słupa)

(u) $\alpha \in \{\frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, 2\pi\}$ kąt obrotu ściany

(v) s_{r1} [mm] rozstaw pierwszego obwodu

(w) s_r [mm] rozstaw kolejnych obwodów

2 Obliczenia wspólne dla wszystkich przypadków

(1) przekrój zbrojenia w kierunku x

$$A_{sx} = \frac{\pi \cdot \phi_x^2}{4} \cdot \frac{1000}{s_x} \quad \left[\frac{mm^2}{m} \right]$$

(2) przekrój zbrojenia w kierunku y

$$A_{sy} = \frac{\pi \cdot \phi_y^2}{4} \cdot \frac{1000}{s_y} \quad \left[\frac{mm^2}{m} \right]$$

(3) stopień zbrojenia w kierunku x

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{1000 \cdot d_x} \quad [-]$$

(4) stopień zbrojenia w kierunku y

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{1000 \cdot d_y} \quad [-]$$

(5) średni stopień zbrojenia

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0.02 \quad [-]$$

(6) wysokość użyteczna w kierunku x

$$d_x = h - c_{nom} - 0.5 \cdot \phi_x - \phi_y \quad [mm]$$

(7) wysokość użyteczna w kierunku y

$$d_y = h - c_{nom} - 0.5 \cdot \phi_y \quad [mm]$$

(8) wysokość użyteczna płyty

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} \quad [mm]$$

(9) $C_{Rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} \quad [-]$, $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} \leq 2.0 \quad [-]$

(10) obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy przebieciu

$$\nu_{Rdc} = \max \begin{cases} C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \\ \nu_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad [MPa]$$

$d_{eff} \quad [mm]$	≤ 160	$161 \div 180$	$181 \div 220$	$221 \div 260$	$261 \div 340$	$341 \div 600$	> 600
$\phi_{sw} \quad [mm]$	—	14	16	18	20	25	30

Tabela 1: Zalecane maksymalne średnice zbrojenia poprzecznego w funkcji d_{eff}

(i) naprężenia styczne działające na obwodzie podstawowym u_0

$$\nu_{Ed0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [MPa]$$

(ii) naprężenia styczne działające na obwodzie kontrolnym u_{cr}

$$\nu_{Ed1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_{cr} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [MPa]$$

(iii) naprężenia maksymalne

$$\nu_{Rd,max,u0} = 0.4 \cdot 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad [MPa]$$

(iv) naprężenia maksymalne

$$\nu_{Rd,max,u1} = k_{max} \cdot \nu_{Rdc}$$

(v) weryfikacja konieczności stosowania zbrojenia na przebicie

- $\nu_{Ed1} > \nu_{Rd,max,u1}$ – należy zmienić parametry połączenia (grubość płyty, klasę wytrzymałość betonu, stopień zbrojenia głównego)
- $\nu_{Ed1} \leq \nu_{Rdc}$ – zbrojenie na przebicie nie jest wymagane
- $\nu_{Ed0} > \nu_{Rd,max,u0}$ – należy zmienić parametry połączenia (grubość płyty, klasę wytrzymałość betonu, stopień zbrojenia głównego)
- $\nu_{Ed0} \leq \nu_{Rd,max,u0}$ – zbrojenie na przebicie jest wymagane

(vi) granica plastyczności zbrojenia na przebicie

$$f_{ywd,eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 250 + 0.25 \cdot d_{eff} \\ f_{ywd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \end{array} \right. \quad [MPa]$$

(vii) wymagane pole przekroju zbrojenia na przebicie

$$A_{sw,req} = \frac{(\nu_{Ed1} - 0.75 \cdot \nu_{Rdc}) \cdot s_r \cdot u_{cr}}{1.5 \cdot f_{ywd,eff}} \quad [mm^2]$$

(viii) wymagana liczba elementów konstrukcyjnych na jednym obwodzie

$$n_{sw,req} = \left\lceil \frac{4 \cdot A_{sw,req}}{\pi \cdot \phi_{sw}^2} \right\rceil \quad [-]$$

Minimalna liczba obwodów zbrojenia – dwa. Pierwszy obwód powinien być usytuowany w odległości: $0.3 \cdot d_{eff} < s_{r1} \leq 0.5 \cdot d_{eff}$, kolejne obwody: $s_r \leq 0.75 \cdot d_{eff}$. Jeżeli odległość s_t pomiędzy elementami

- „na odwodzie zbrojenia usytuowanym wewnątrz u_{cr} ” przekracza $1.5 \cdot d_{eff}$
- „na odwodzie zbrojenia usytuowanym poza u_{cr} ” przekracza $2.0 \cdot d_{eff}$

to należy dodać odpowiednią liczbę elementów (trzpieni) konstrukcyjnych.

- $A_{sw,prov}$ – pole przekroju zbrojenia na przebiecie po dodaniu elementów (trzpieni) konstrukcyjnych
- $A_{sw,total}$ – pole przekroju zbrojenia na przebiecie po uwzględnieniu listw
($A_{sw,total} = \text{pole jednego pręta} \cdot \text{liczba prętów na wszystkich obwodach}$)
- graniczne naprężenia płyty ze zbrojeniem

$$\nu_{Rdcz} = 0.75 \cdot \nu_{Rdc} + \frac{1.5 \cdot A_{sw,min} \cdot f_{ywd,eff}}{s_r \cdot u_{cr}} \quad [MPa]$$

gdzie $A_{sw,min}$ to pole przekroju zbrojenia faktycznie przyjętego, przypadający na jeden obwód. W przypadku zróżnicowanej liczby prętów na kolejnych obwodach bierzemy pod uwagę najmniejszą ich liczbę.

Wykorzystanie nośności dla płyty bez zbrojenia poprzecznego:

$$\frac{\nu_{Ed1}}{\nu_{Rdc}} \cdot 100\%$$

Wykorzystanie nośności dla płyty ze zbrojeniem poprzecznym:

$$\frac{\nu_{Ed1}}{\nu_{Rdcz}} \cdot 100\%$$

3 Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego wewnętrznego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: κ jest współczynnikiem zależnym od stosunku wymiarów \widetilde{c}_x i \widetilde{c}_y słupa, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| dl,$$

dl oznacza przyrost długości obwodu, zaś ξ to odległość dl od osi, względem której występuje zginanie momentu M_{Ed} . Dla wewnętrznych słupów prostokątnych z mimośrodem w dwóch kierunkach można stosować wzór przybliżony:

$$\beta = 1 + 1.8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_x}{b_y}\right)^2} \quad [-]$$

- wymiary obwodu kontrolnego

$$b_x = c_x + 4 \cdot d_{eff} \quad [mm] \quad b_y = c_y + 4 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

- mimośrod (obliczane na podstawie momentu względem odpowiednich osi)

$$e_x = \frac{M_{Edy}}{V_{Ed}} \cdot 1000 \quad [mm] \quad e_y = \frac{M_{Edx}}{V_{Ed}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0

$$u_0 = 2 \cdot (c_x + c_y) \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr} (zielony obwód)

$$u_{cr} = u_0 + 4 \cdot \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(v) promień obwodu $u_{out,req}$

$$r_{out} = \frac{u_{out,req} - 2 \cdot (c_x + c_y)}{2 \cdot \pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(vii) $l_{s,req} = r_{sw}$ – odległość od krawędzi słupa do $u_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff}$

(viii) $l_{s,prov}$ – odległość od krawędzi słupa do ostatniego obwodu z trzpieniami

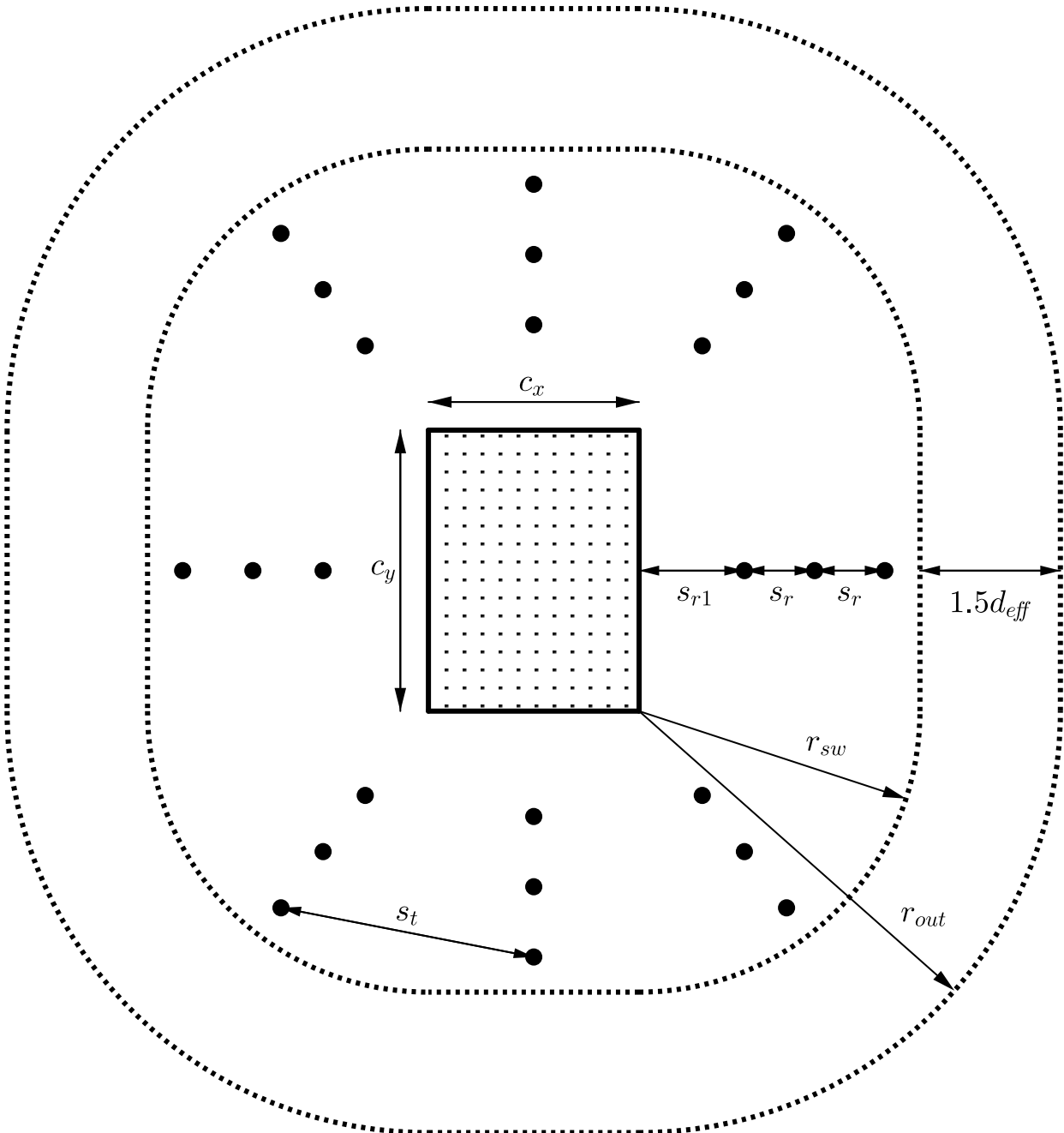
$\widetilde{c}_x/\widetilde{c}_y$	≤ 0.5	$(0.5 \div 1.0)$	1.0	$(1.0 \div 2.0)$	2.0	$(2.0 \div 3.0]$	≥ 3.0
$\kappa = f(\tau)$	0.45	$0.3 \cdot \tau + 0.3$	0.6	$0.1 \cdot \tau + 0.5$	0.7	$0.1 \cdot \tau + 0.5$	0.8

Tabela 2: Wartości κ dla słupów prostokątnych

Dla wewnętrznego słupa prostokątnego W_1 oblicza się ze wzoru:

$$W_1 = 0.5 \cdot \widetilde{c}_x^2 + \widetilde{c}_x \cdot \widetilde{c}_y + 4 \cdot \widetilde{c}_y \cdot d_{eff} + 16 \cdot d_{eff}^2 + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} \cdot \widetilde{c}_x.$$

- \widetilde{c}_x oznacza wymiar słupa równoległy do mimośrodowo obciążenia,
- \widetilde{c}_y oznacza wymiar słupa prostopadły do mimośrodowo obciążenia.



Rysunek 1: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa prostokątnego wewnętrznego

4 Obliczenie w przypadku słupa okrągłego wewnętrznego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: $\kappa = 0.6$, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| dl,$$

dl oznacza przyrost długości obwodu, zaś ξ to odległość dl od osi, względem której występuje zginanie momentu M_{Ed} . Dla wewnętrznych słupów okrągłych z momentem wypadkowym $M_{Ed} = \sqrt{M_{Edx}^2 + M_{Edy}^2}$ można stosować wzór przybliżony:

$$\beta = 1 + 0.6 \cdot \pi \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot 1000}{(d_c + 4 \cdot d_{eff})} \quad [-]$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0

$$u_0 = \pi \cdot d_c \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr} (zielony obwód)

$$u_{cr} = u_0 + 4 \cdot \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(v) promień obwodu $u_{out,req}$

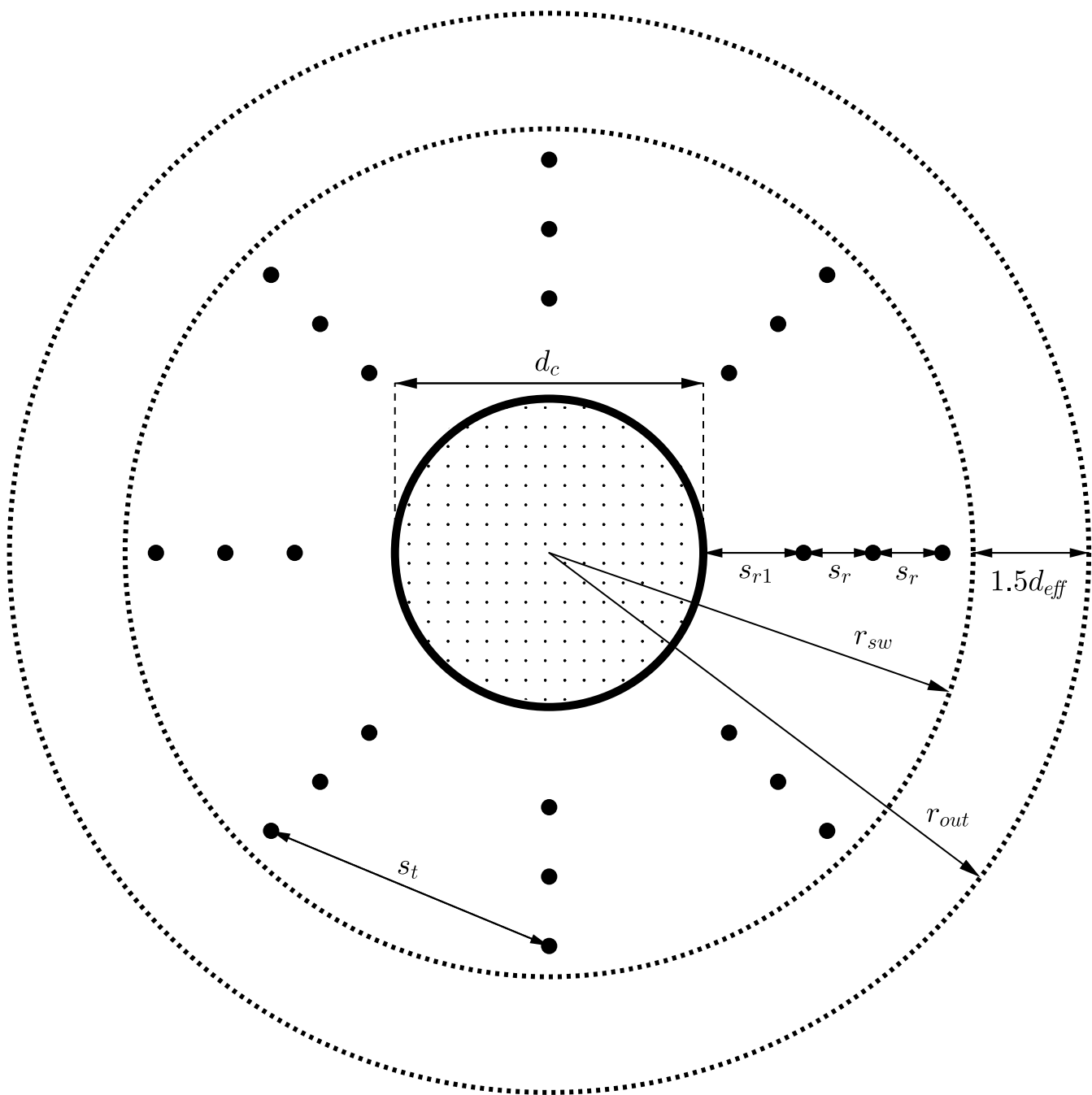
$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req}}{2 \cdot \pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(vii) $l_{s,req} = r_{sw}$ – odległość od krawędzi słupa do $u_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff}$

(viii) $l_{s,prov}$ – odległość od krawędzi słupa do ostatniego obwodu z trzpieniami



Rysunek 2: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa okrągłego wewnętrznego

5 Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego krawędziowego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: κ jest współczynnikiem zależnym od stosunku wymiarów \widetilde{c}_x i \widetilde{c}_y słupa, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| dl.$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0 (krawędź pionowa)

$$u_0 = 2 \cdot l_x + c_y + \min\{2 \cdot c_x, 3 \cdot d_{eff}\} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu podstawowego słupa u_0 (krawędź pozioma)

$$u_0 = 2 \cdot l_y + c_x + \min\{2 \cdot c_y, 3 \cdot d_{eff}\} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr} (krawędź pionowa)

$$u_{cr} = 2 \cdot l_x + 2 \cdot c_x + c_y + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(v) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr} (krawędź pozioma)

$$u_{cr} = 2 \cdot l_y + 2 \cdot c_y + c_x + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(vi) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(vii) promień obwodu $u_{out,req}$ (krawędź pionowa)

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - 2 \cdot (l_x + c_x) - c_y}{\pi} \quad [mm]$$

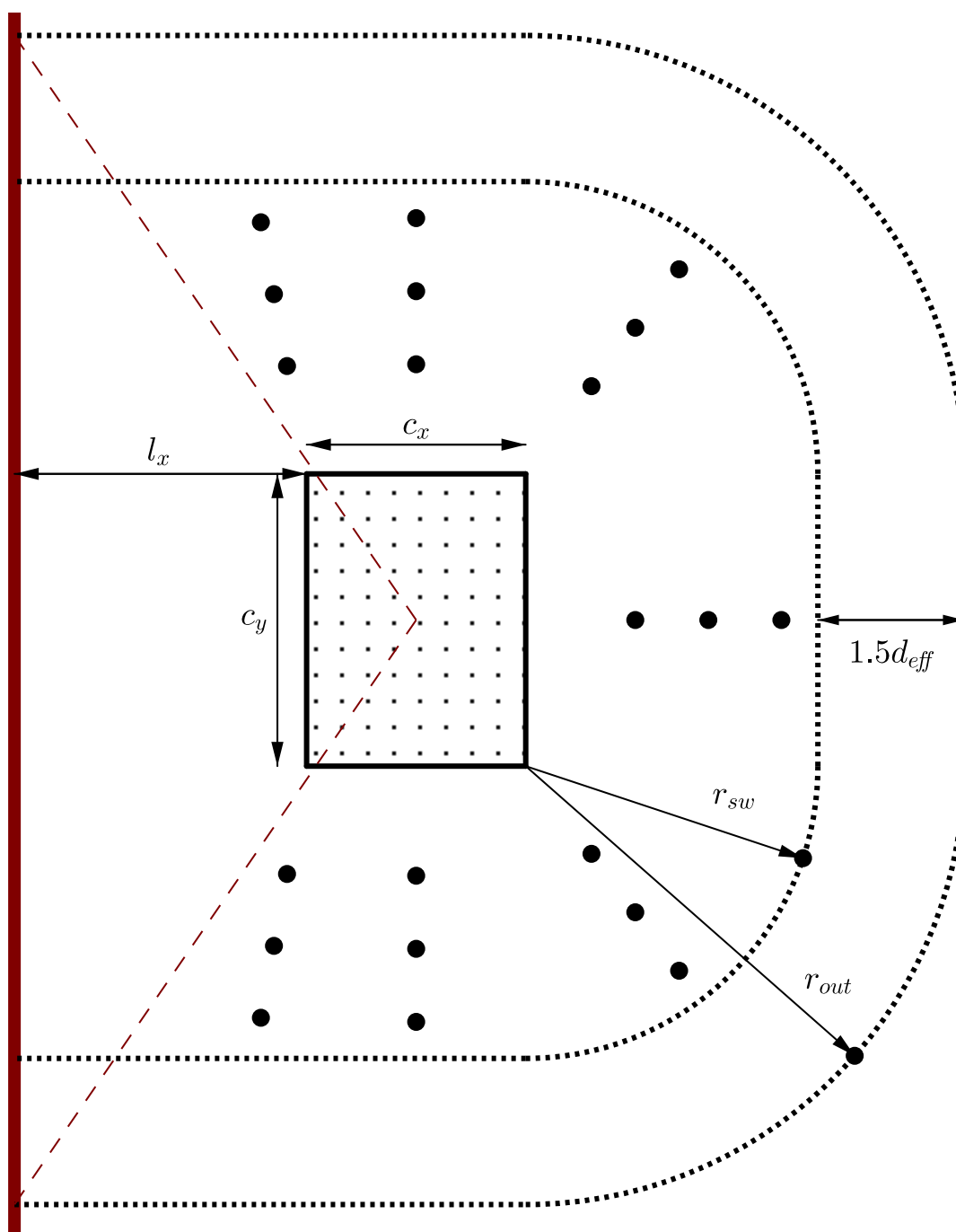
(viii) promień obwodu $u_{out,req}$ (krawędź pozioma)

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - 2 \cdot (l_y + c_y) - c_x}{\pi} \quad [mm]$$

(ix) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

Uwaga. Jeżeli $u_{cr} > u_{cr}^{in} := 2 \cdot (c_x + c_y) + 4 \cdot \pi \cdot d_{eff}$ to obliczenia wykonać jak w przypadku słupa wewnętrznego.



Rysunek 3: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa prostokątnego krawędziowego

6 Obliczenie w przypadku słupa okrągłego krawędziowego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: $\kappa = 0.6$, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| dl.$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0

$$u_0 = 2 \cdot l_x + 0.5 \cdot \pi \cdot d_c + \min\{d_c, 3 \cdot d_{eff}\} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr}

$$u_{cr} = 2 \cdot l_x + d_c + \pi \cdot (0.5 \cdot d_c + 2 \cdot d_{eff}) \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

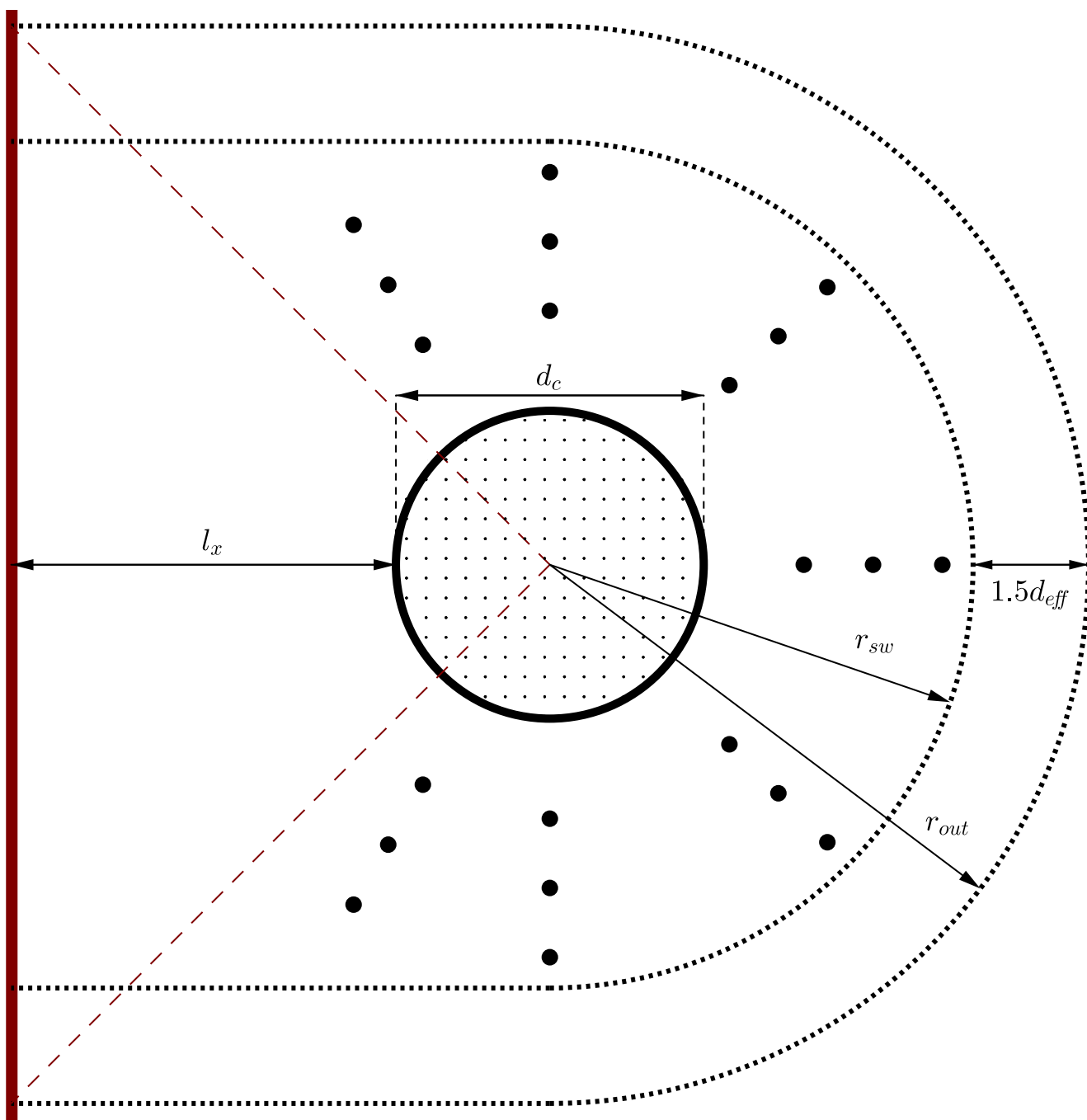
(v) promień obwodu $u_{out,req}$

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - (2 \cdot l_x + d_c)}{\pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

Uwaga. Jeżeli $u_{cr} > u_{cr}^{in} := 2 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot d_c + 2 \cdot d_{eff}) = \pi \cdot (d_c + 4 \cdot d_{eff})$ to obliczenia wykonać jak w przypadku słupa wewnętrznego.



Rysunek 4: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa okrągłego krawędziowego

7 Obliczenie w przypadku słupa prostokątnego narożnego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: κ jest współczynnikiem zależnym od stosunku wymiarów \widetilde{c}_x i \widetilde{c}_y słupa, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| \, dl.$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0

$$u_0 = l_x + l_y + \min\{c_x + c_y, 3 \cdot d_{eff}\} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr}

$$u_{cr} = l_x + l_y + c_x + c_y + \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

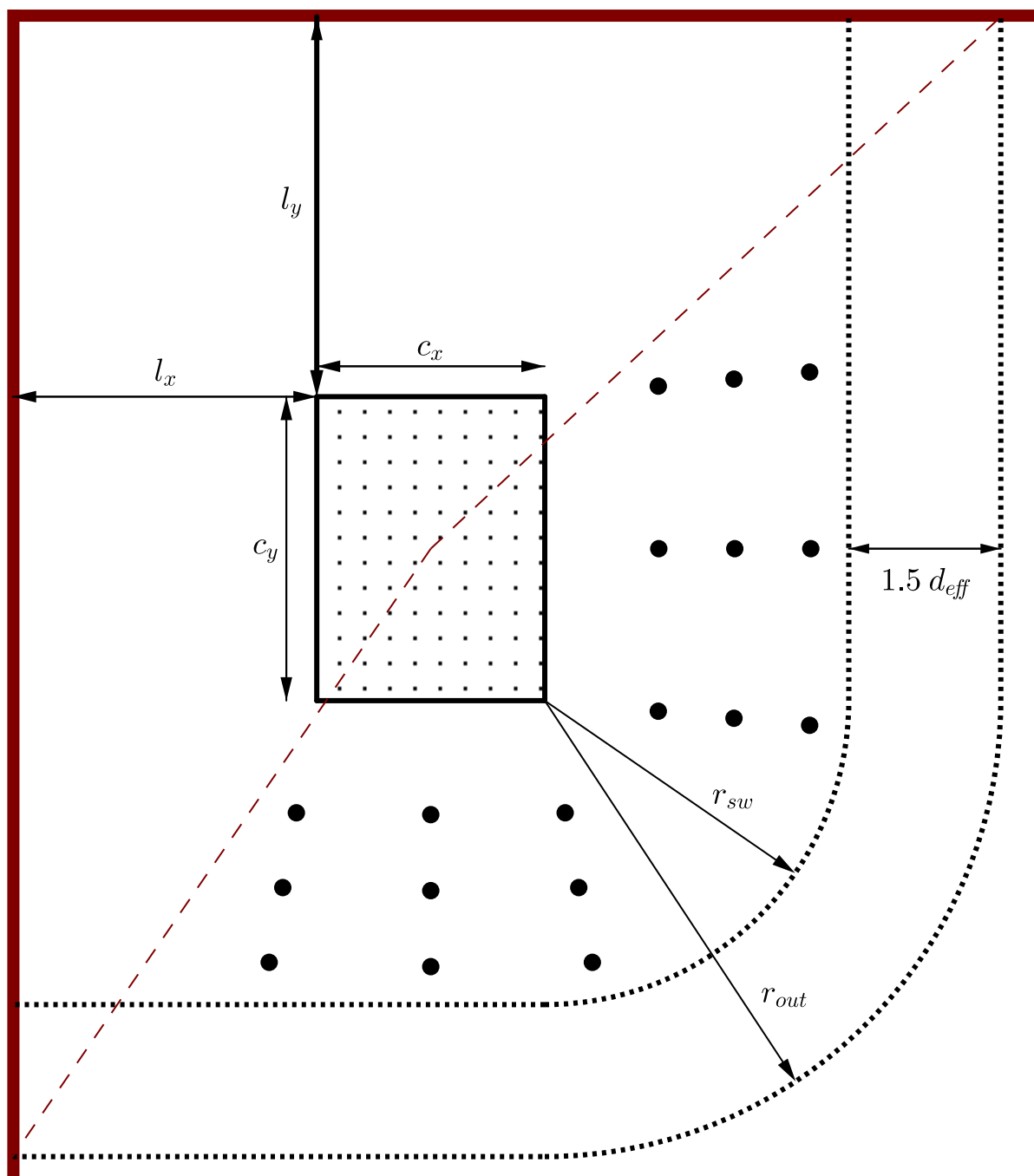
(v) promień obwodu $u_{out,req}$

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - (l_x + l_y + c_x + c_y)}{0.5 \cdot \pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

Uwaga. Jeżeli $u_{cr} > u_{cr}^{in} := 2 \cdot (c_x + c_y) + 4 \cdot \pi \cdot d_{eff}$ to obliczenia wykonać jak w przypadku słupa wewnętrznego.



Rysunek 5: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa prostokątnego narożnego

8 Obliczenie w przypadku słupa okrągłego narożnego

(i) współczynnik zwiększający obciążenie

$$\beta = 1 + \kappa \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{cr}}{W_1} \quad [-]$$

gdzie: $\kappa = 0.6$, natomiast W_1 odpowiada rozkładowi naprężeń stycznych

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| \, dl.$$

(ii) długość obwodu podstawowego słupa u_0

$$u_0 = l_x + l_y + \min\{d_c \cdot (1 + 0.25 \cdot \pi), 3 \cdot d_{eff}\} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego słupa u_{cr}

$$u_{cr} = l_x + l_y + d_c + 0.5 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot d_c + 2 \cdot d_{eff}) \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

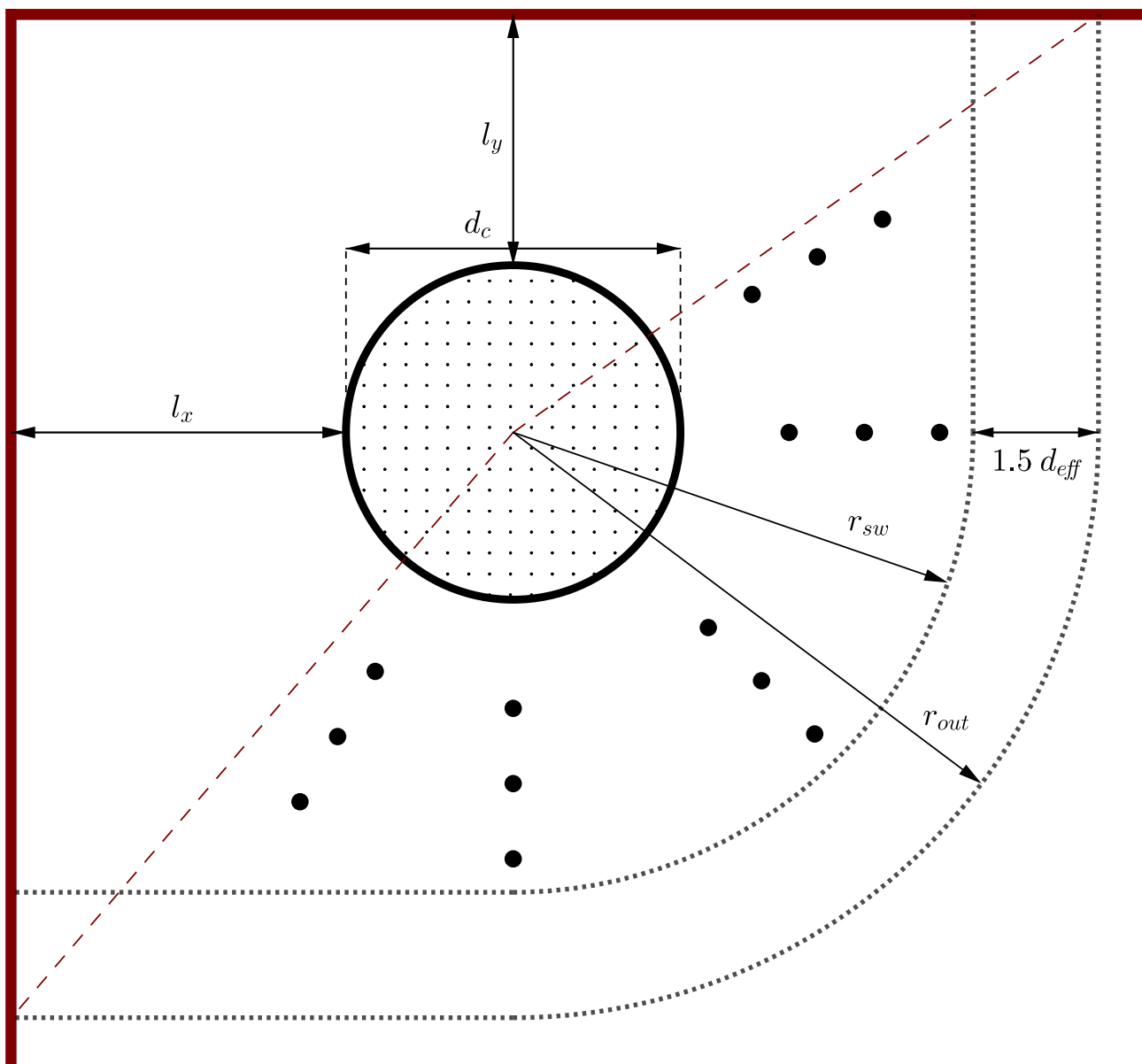
(v) promień obwodu $u_{out,req}$

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - (l_x + l_y + d_c)}{0.5 \cdot \pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

Uwaga. Jeżeli $u_{cr} > u_{cr}^{in} := 2 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot d_c + 2 \cdot d_{eff}) = \pi \cdot (d_c + 4 \cdot d_{eff})$ to obliczenia wykonać jak w przypadku słupa wewnętrznego.



Rysunek 6: Rozkład prętów na obwodach w przypadku słupa okrągłego narożnego

9 Obliczenie w przypadku końca ściany

(i) współczynnik zwiększający obciążenie $\beta = 1.35$ $[-]$

(ii) długość obwodu podstawowego ściany u_0

$$u_0 = b_c + 3 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego ściany u_{cr}

$$u_{cr} = u_0 + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(v) promień obwodu $u_{out,req}$

$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - b_c - 3 \cdot d_{eff}}{\pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

10 Obliczenie w przypadku naroża ściany

(i) współczynnik zwiększający obciążenie $\beta = 1.20$ $[-]$

(ii) długość obwodu podstawowego ściany u_0

$$u_0 = 3 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iii) długość obwodu kontrolnego ściany u_{cr}

$$u_{cr} = u_0 + \pi \cdot d_{eff} \quad [mm]$$

(iv) długość obwodu zewnętrznego, ograniczającego obszar, w którym zbrojenie na przebiecie jest wymagane

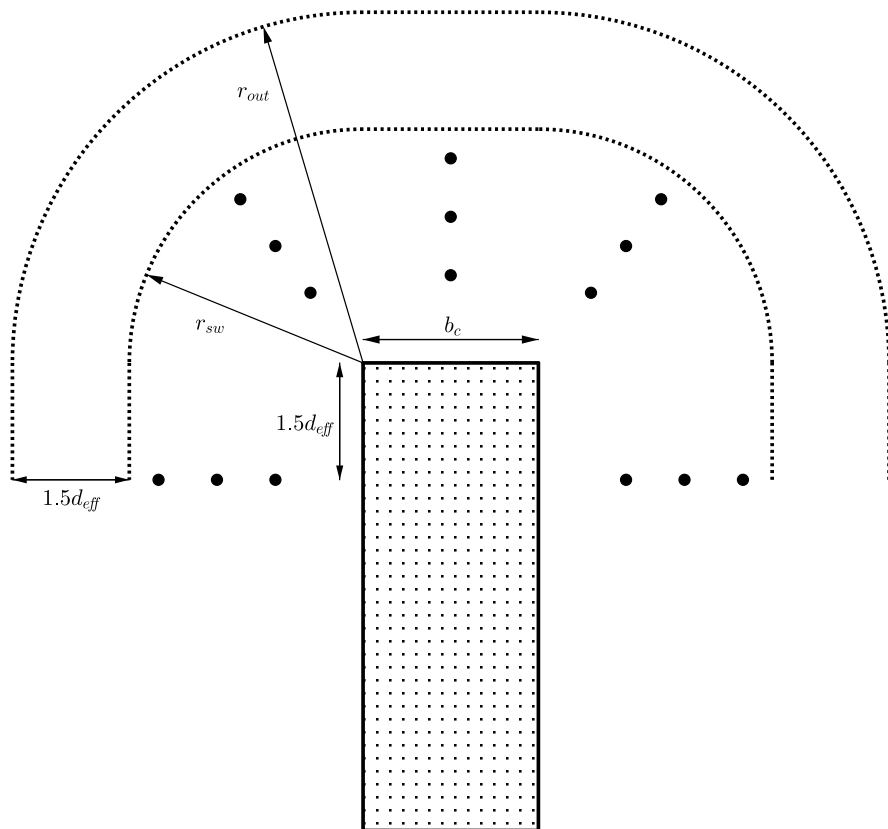
$$u_{out,req} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{\nu_{Rdc} \cdot d_{eff}} \cdot 1000 \quad [mm]$$

(v) promień obwodu $u_{out,req}$

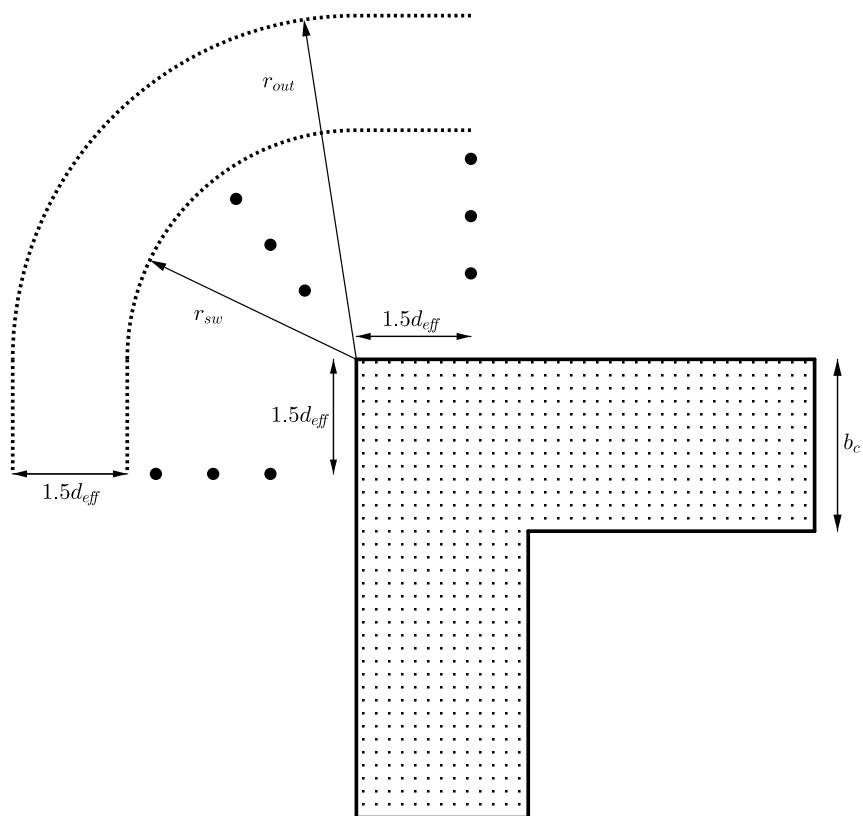
$$r_{out,req} = \frac{u_{out,req} - 3 \cdot d_{eff}}{0.5 \cdot \pi} \quad [mm]$$

(vi) minimalny zasięg zbrojenia poprzecznego

$$r_{sw} = r_{out,req} - 1.5 \cdot d_{eff} \quad [mm]$$



Rysunek 7: Rozkład prętów na obwodach w przypadku końca ściany



Rysunek 8: Rozkład prętów na obwodach w przypadku naroża ściany

11 Momenty statyczne i środek ciężkości

Moment statyczny względem osi OX :

$$S_x = \sum_i y_i \cdot l_i = \int_K y \, dl$$

- przypadek odcinka pionowego: $x = C, y = t \in [y_a, y_b]$ $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dt$

$$S_x = \pm \int_{y_a}^{y_b} t \, dt = \pm \frac{y_b^2 - y_a^2}{2}$$

- przypadek odcinka poziomego: $x = t \in [x_a, x_b], y = C$ $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dt$

$$S_x = \pm \int_{x_a}^{x_b} C \, dt = \pm C \cdot (x_b - x_a)$$

- przypadek łuku: $x = r \cdot \cos(t), y = r \cdot \sin(t), t \in [\alpha, \beta]$ $dl = r \, dt$

$$S_x = \int_{\alpha}^{\beta} r \cdot \sin(t) \cdot r \, dt = r^2 \cdot (-\cos(\beta) + \cos(\alpha))$$

Moment statyczny względem osi OY :

$$S_y = \sum_i x_i \cdot l_i = \int_K x \, dl$$

- przypadek odcinka pionowego: $x = C, y = t \in [y_a, y_b]$ $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dt$

$$S_y = \pm \int_{y_a}^{y_b} C \, dt = \pm C \cdot (y_b - y_a)$$

- przypadek odcinka poziomego: $x = t \in [x_a, x_b], y = C$ $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dt$

$$S_y = \pm \int_{x_a}^{x_b} t \, dt = \pm \frac{x_b^2 - x_a^2}{2}$$

- przypadek łuku: $x = r \cdot \cos(t), y = r \cdot \sin(t), t \in [\alpha, \beta]$ $dl = r \, dt$

$$S_y = \int_{\alpha}^{\beta} r \cdot \cos(t) \cdot r \, dt = r^2 \cdot (\sin(\beta) - \sin(\alpha))$$

–moment statyczny dla odcinka = długości odcinka * odległości od osi

–moment statyczny dla łuku = długość łuku * odległość do środka +

+moment statyczny względem osi przesuniętej (krawędzi słupa)

Środek ciężkości

$$x_{cg} = \frac{S_y}{\sum_i l_i} = \frac{S_y}{\int_K 1 \, dl} = \frac{S_y}{|K|}, \quad y_{cg} = \frac{S_x}{\sum_i l_i} = \frac{S_x}{\int_K 1 \, dl} = \frac{S_x}{|K|}.$$

Momenty względem środka ciężkości

$$M_{Edx,cg} = M_{Edx} - V_{Ed} \cdot y_{cg},$$

$$M_{Edy,cg} = M_{Edy} + V_{Ed} \cdot x_{cg}.$$

$$W_1 = \int_{u_{cr}} |\xi| \, dl = \int_{u_{cr}} \frac{|-M_{E dy} \cdot x + M_{E dx} \cdot y|}{\sqrt{M_{E dy}^2 + M_{E dx}^2}} \, dl$$

$$W_1 = \int_a^b \frac{|-M_{E dy} \cdot (x - x_{cg}) + M_{E dx} \cdot (y - y_{cg})|}{\sqrt{M_{E dy}^2 + M_{E dx}^2}} \, dt$$

$$W_1 = \int_0^{2\pi} \frac{|-M_{E dy} \cdot (r \cdot \cos(t) - x_{cg}) + M_{E dx} \cdot (r \cdot \sin(t) - y_{cg})|}{\sqrt{M_{E dy}^2 + M_{E dx}^2}} \, dt$$