

OBLICZENIA

do projektu budowlanego budowy Muzeum Westerplatte i Wojny 1939 – Oddziału
Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku
w zakresie budowy postumentu z tablicą informacyjną wraz z oświetleniem i
utwardzeniem terenu wokół obiektu

Wymiarowanie stóp fundamentowych

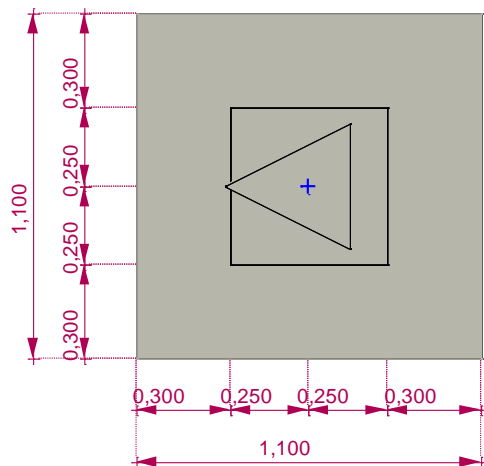
Norma: Eurokod [PL]

Parametry gruntu

Nazwa	Opis	Rzędna wierzchu z_i [m]	Grubość h_i [m]	Gęstość ρ_s [kg/m ³]	Kąt tarcia wewn. φ [°]	Spójność c [kN/m ²]	Moduł sprężystości E_0 [kN/m ²]
CST	Zagęszczony, suchy piasek	0	1,5	2000	35,00	–	63000
II	Gliny pylaste, piaski pylaste IL=0,4	-1,5	3	2050	11,10	10	13260

Fundament

Geometria:



Materiały

Beton: C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Gęstość: $\rho_C = 2200 \text{ kg/m}^3$

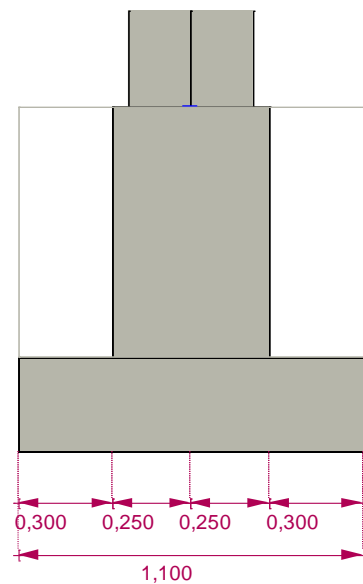
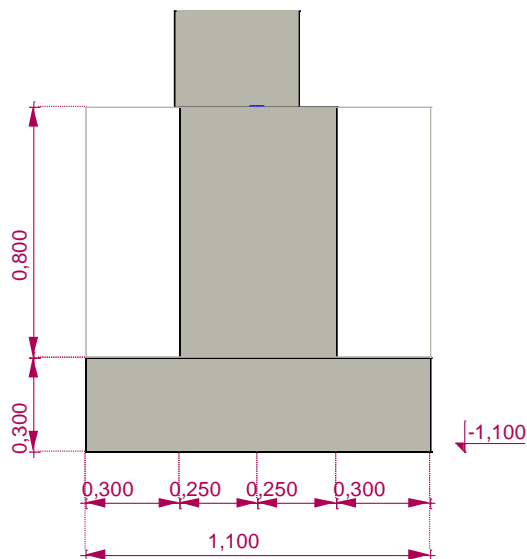
Żelbet:

Gęstość: $\rho_{RC} = 2500 \text{ kg/m}^3$

Stal zbrojeniowa

Zbrojenie podłużne: B500A

$$f_{yk} = 500,25 \text{ N/mm}^2$$



Głębokość posadowienia: $D = 1,1 \text{ m}$

Charakterystyczna wartość ciężaru objętościowego materiałów:

Beton: $\gamma_{C,k} = \rho_C \cdot g \cdot 10^{-3} = 2200 \cdot 9,810 \cdot 10^{-3} = 21,582 \text{ kN/m}^3$

Żelbet: $\gamma_{RC,k} = \rho_{RC} \cdot g \cdot 10^{-3} = 2500 \cdot 9,810 \cdot 10^{-3} = 24,525 \text{ kN/m}^3$

Szerokość stopy fundamentowej: $B = 1,1 \text{ m}$

Długość stopy fundamentowej: $L = 1,1 \text{ m}$

Grubość płyty $h_1 = 0,3 \text{ m}$

Wysokość odsadzki: $h_2 = 0,8 \text{ m}$

Nachylenie podstawy: $\alpha = 0^\circ$

Objętość fundamentu: $V_f = 0,563 \text{ m}^3$

Charakterystyczna wartość ciężaru fundamentu: $G_{f,k} = V_f \cdot \gamma_{RC,k} = 0,563 \cdot 24,525 = 13,808 \text{ kN} (\downarrow)$

Grunt zasypowy

Materiał: Zagęszczony, suchy piasek (CST)

Gęstość gruntu zasypowego: $\rho_{bf} = 2000 \text{ kg/m}^3$

Ciężar objętościowy gruntu zasypowego: $\gamma_{bf} = \rho_{bf} \cdot g \cdot 10^{-3} = 2000 \cdot 9,810 \cdot 10^{-3} = 19,62 \text{ kN/m}^3$

Objętość gruntu zasypowego: $V_{bf} = 0,768 \text{ m}^3$

Charakterystyczna wartość ciężaru gruntu zasypowego

$G_{bf,k} = V_{bf} \cdot \gamma_{bf} = 0,768 \cdot 19,62 = 15,068 \text{ kN}$

Obliczenie nośności podłoża

Metoda wymiarowania 2: {A1 "+" M1 "+" R2} (Decydująca)

PN EN 1997-1 Załącznik A

Współczynniki częściowe			
A1	Oddziaływania stałe, niekorzystne	$\gamma_{G,unfav}$	1,35
	Oddziaływania stałe, korzystne	$\gamma_{G,fav}$	1,00
	Oddziaływania zmienne, niekorzystne	$\gamma_{Q,unfav}$	1,50
	Oddziaływania zmienne, korzystne	$\gamma_{Q,fav}$	0,00
M1	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego	γ_{φ}	1,00
	Spójność efektywna	γ_c	1,00
	Wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu	γ_{cu}	1,00
	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	γ_{qu}	1,00
	Ciężar objętościowy	γ_{γ}	1,00
R2	Nośność podłoża	$\gamma_{R,v}$	1,40
	Nośność na przesunięcie (poślizg)	$\gamma_{R,h}$	1,10
	Siły od gruntu	$\gamma_{R,e}$	1,10

Obliczeniowe wartości parametrów gruntu pod fundamentem

Gęstość warstwy gruntu $\rho_s = 2000 \text{ kg/m}^3$

Ciężar objętościowy:

$$\gamma' = \rho_s \cdot g \cdot \gamma_{\gamma} \cdot 10^{-3} = 2000 \cdot 9,810 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 19,62 \text{ kN/m}^3$$

Kąt tarcia wewn.: $\varphi'_k = 35,00^\circ$

Efektywny kąt tarcia wewnętrznego:

$$\varphi' = \text{Arc tg} \frac{\text{tg } \varphi'_k}{\gamma_{\varphi}} = \text{Arc tg} \frac{\text{tg } 35,00^\circ}{1} = 35,00^\circ$$

Spójność: $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$

Spójność efektywna: $c' = \frac{c'_k}{\gamma_c} = \frac{0}{1} = 0 \text{ kN/m}^2$

Kąt tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym $\varphi_{cv} = 32,00^\circ$

Charakterystyczny efektywny nacisk od nadkładu w poziomie posadowienia:

$$q'_k = g \cdot \rho_{s,1} \cdot D \cdot 10^{-3} = 9,810 \cdot 2000 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 21,582 \text{ kN/m}^2$$

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Podpora węzłowa 1

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN}$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Obliczeniowa wartość obciążeń w podstawie fundamentu

$$H_{dx} = F_x = 0 \text{ kN}$$

$$H_{dy} = F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_d = \sqrt{H_{dx}^2 + H_{dy}^2} = \sqrt{0^2 + (-1,5)^2} = 1,5 \text{ kN}$$

$$V_d = V + (G_{fk} + G_{bfk}) \cdot \gamma_{G,unfav} = 3,983 + (13,808 + 15,068) \cdot 1,35 = 42,965 \text{ kN}$$

Mimośród siły pionowej (V_d) względem środka podstawy fundamentu

$$e_x = \frac{V \cdot e_{0,x} + M_y + F_x \cdot (h_1 + h_2) + (G_{fk} \cdot e_{f,x} + G_{bfk} \cdot e_{bf,x}) \cdot \gamma_{G,unfav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 + 0 + 0 \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1,35}{42,965} = 0 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{V \cdot e_{0,y} - M_x + F_y \cdot (h_1 + h_2) + (G_{fk} \cdot e_{f,y} + G_{bfk} \cdot e_{bf,y}) \cdot \gamma_{G,unfav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 - 2,25 + (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1,35}{42,965} = -0,091 \text{ m}$$

Efektywna szerokość fundamentu:

$$B' = b_y - |e_y| \cdot 2 = 1,1 - |(-0,091)| \cdot 2 = 0,918 \text{ m}$$

Efektywna długość fundamentu:

$$L' = b_x - |e_x| \cdot 2 = 1,1 - |0| \cdot 2 = 1,1 \text{ m}$$

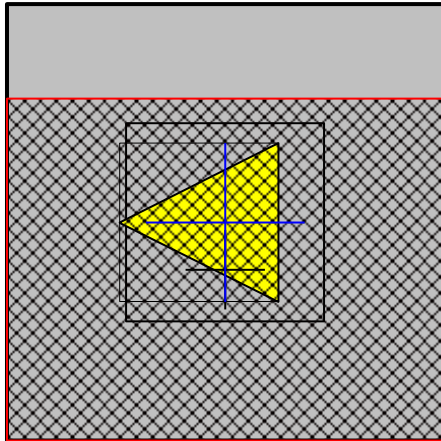
Efektywne pole powierzchni fundamentu:

$$A' = B' \cdot L' = 0,918 \cdot 1,1 = 1,0098 \text{ m}^2$$

$$q_{E,d} = \frac{V_d}{A'} = \frac{42,965}{1,0098} = 42,548 \text{ kN/m}^2$$

$$H_B = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_L = 0 \text{ kN}$$



Obliczeniowe efektywne naprężenie od nadkładu w poziomie podstawy fundamentu:

$$q' = \gamma_y \cdot q'_k = 1 \cdot 21,582 = 21,582 \text{ kN/m}^2$$

Warunki z odpływem

Bezwymiarowe współczynniki do obliczeń [PN EN 1997-1 Załącznik D D.4](#)

Współczynniki nośności:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi'} \cdot \left(\tan 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right)^2 = e^{3,1416 \cdot \tan 35,00^\circ} \cdot \left(\tan 45^\circ + \frac{35,00^\circ}{2} \right)^2 = 33,296$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi' = 2 \cdot (33,296 - 1) \cdot \tan 35,00^\circ = 45,228$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \varphi'} = \frac{(33,296 - 1)}{\tan 35,00^\circ} = 46,124$$

Współczynniki kształtu podstawy fundamentu:

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 - 0,3 \cdot \frac{0,918}{1,1} = 0,74964$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi' = 1 + \frac{0,918}{1,1} \cdot \sin 35,00^\circ = 1,4787$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1,4787 \cdot 33,296 - 1}{33,296 - 1} = 1,4935$$

Współczynniki nachylenia podstawy:

$$\alpha = 0^\circ$$

$$b_\gamma = 1$$

$$b_q = b_\gamma = 1$$

$$b_c = 1$$

Współczynniki nachylenia obciążenia:

$$m_B = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} = \frac{2 + \frac{0,918}{1,1}}{1 + \frac{0,918}{1,1}} = 1,5451$$

$$m_L = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} = \frac{2 + \frac{1,1}{0,918}}{1 + \frac{1,1}{0,918}} = 1,4549$$

$$m = m_B \cdot \left(\frac{H_B}{H}\right)^2 + m_L \cdot \left(\frac{H_L}{H}\right)^2 = 1,5451 \cdot \left(\frac{(-1,5)}{1,5}\right)^2 + 1,4549 \cdot \left(\frac{0}{1,5}\right)^2 = 1,5451$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{V_d + A' \cdot c' \cdot \cotg \varphi'}\right]^{(m+1)} = \left[1 - \frac{1,5}{42,965 + 1,0098 \cdot 0 \cdot \cotg 35,00^\circ}\right]^{(1,5451 + 1)} = 0,91353$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V_d + A' \cdot c' \cdot \cotg \varphi'}\right]^m = \left[1 - \frac{1,5}{42,965 + 1,0098 \cdot 0 \cdot \cotg 35,00^\circ}\right]^{1,5451} = 0,94657$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tg \varphi'} = 0,94657 - \frac{1 - 0,94657}{46,124 \cdot \tg 35,00^\circ} = 0,94492$$

Współczynniki		Spójność c	Ciężar własny γ	Nadkład q
Współczynniki nośności	N	46,124	45,228	33,296
Współczynniki kształtu podstawy fundamentu	s	1,4935	0,74964	1,4787
Współczynniki nachylenia podstawy	b	1	1	1
Współczynniki nachylenia obciążenia	i	0,94492	0,91353	0,94657

Nośność podłoża:

$$R_{V,d} = \frac{(c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot b_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot b_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot A'}{\gamma_{R,\gamma}} =$$

$$= \frac{(0 \cdot 46,124 \cdot 1,4935 \cdot 1 \cdot 0,94492 + 21,582 \cdot 33,296 \cdot 1,4787 \cdot 1 \cdot 0,94657 + 0,5 \cdot 19,62 \cdot 0,918 \cdot 45,228 \cdot 1 \cdot 0,74964 \cdot 0,91353) \cdot 1,0098}{1,4}$$

$$= 926,66 \text{ kN}$$

Wykorzystanie nośności:

$$\Lambda_{R,v} = \frac{V_d}{R_{V,d}} = \frac{42,965}{926,66} = 0,046 \leq \Lambda_{R,v,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Wpływ podłoża uwarstwionego

	Nazwa	Rzędna wierzchu z_i [m]	Grubość h_i [m]	Ciężar objętościowy γ_i [kN/m ³]	B'_i [m]	L'_i [m]	A'_i [m]	Nacisk od nadkładu q'_i [kN/m ²]	$q_{Ed,i}$ [kN/m ²]	Nośność podłoża R/A'_i [kN/m ²]
1.	CST	0	1,5	19,62	-	-	-	-	-	-
2.	II	-1,5	3	20,11	1,718	1,9	3,2642	29,43	21,011	212,48

gdzie:

$$B'_i = B' + 2 \cdot (|z_i| - D)$$

$$L'_i = L' + 2 \cdot (|z_i| - D)$$

$$A'_i = B'_i \cdot L'_i$$

$$B' = 0,918 \text{ m}$$

$$L' = 1,1 \text{ m}$$

$$D = 1,1 \text{ m}$$

$$q_{Ed,i} = \frac{V_d}{A'_i} + (q'_i - q')$$









$$R/A'_i = (c'_i \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q'_i \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_i \cdot B'_i \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma)$$

Wykorzystanie nośności:

$$\Lambda_{R,v,max} = 0,098881 \leq \Lambda_{R,v,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Warunek mimośrodów

Współczynnik graniczny dla mimośrodu: $\gamma_{ecc,lim} = 0,167$

F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	V_d [kN]	e_x [m]	e_y [m]	γ_{ecc}			DA	γ_G	Przypadek obciążenia
0	-1,5	-3,983	2,25	0	32,859	0	-0,119	0,10818			2.	1	Komb #1
0	-1,5	-3,983	2,25	0	42,965	0	-0,091	0,082727			2.	1,35	
0	-1,5	-3,983	2,25	0	32,859	0	-0,119	0,10818			-	1	

gdzie:

$$V_d = -F_z + (G_{fk} + G_{bfk}) \cdot \gamma_{G,unfav}$$

$$\gamma_{ecc} = \sqrt{\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2}$$

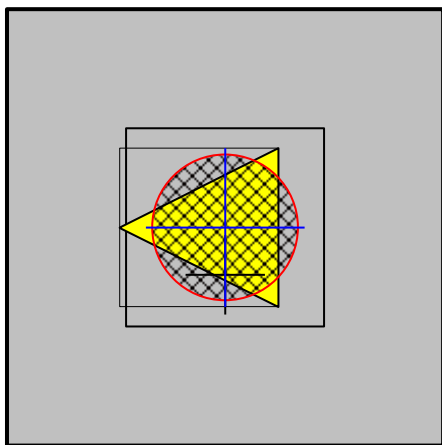
Wartości mimośrodów uwzględniają dodatkowy moment w poziomie

posadowienia od sił poziomych

DA : Metoda wymiarowania PN EN 1997-1 2.4.7.3.4 (Design Approaches)

γ_G : Współczynnik częściowy ciężaru własnego fundamentu

$$\gamma_{ecc,max} = 0,10818 \leq \gamma_{ecc,lim} = 0,167 \quad \text{spełniony!}$$



Warunek stateczności

$$\gamma_{G,dst} = 1,1$$

$$\gamma_{G,stb} = 0,9$$

Wartość obliczeniowa ciężaru fundamentu: $G_{f,d} = G_{f,k} \cdot \gamma_{G,stb} = 13,808 \cdot 0,9 = 12,427 \text{ kN}$

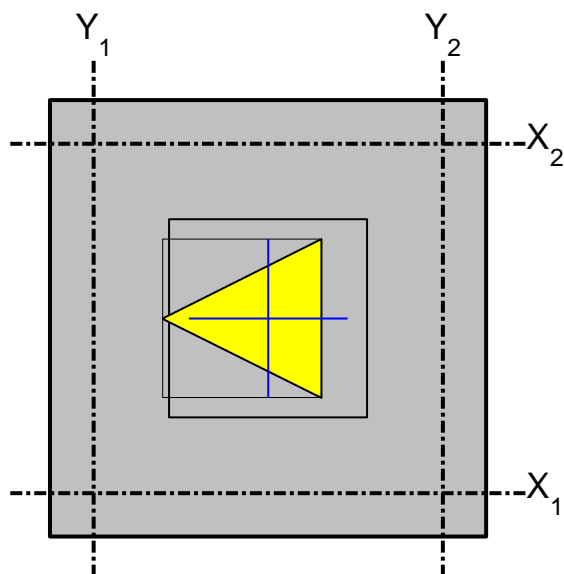
Wartość obliczeniowa ciężaru gruntu zasypowego: $G_{bf,d} = G_{bf,k} \cdot \gamma_{G,stb} = 15,068 \cdot 0,9 = 13,561 \text{ kN}$

Wartość stosunku odległości między osią obrotu a krawędzią fundamentu do wymiaru fundamentu: $\gamma_{\omega} = 0,1$

Odległość między osią obrotu a środkiem podstawy fundamentu

$$e_{EQU,x} = \frac{b_x \cdot (1 - \gamma_{\omega})}{2} = \frac{1,1 \cdot (1 - 0,1)}{2} = 0,495 \text{ m}$$

$$e_{EQU,y} = \frac{b_y \cdot (1 - \gamma_{\omega})}{2} = \frac{1,1 \cdot (1 - 0,1)}{2} = 0,495 \text{ m}$$



Sprawdzenie obrotu wokół osi - x_1 -

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Moment stabilizujący

$$\begin{aligned} M_{x1, stb} &= F_y \cdot (h_1 + h_2) + (-V) \cdot e_{EQU, y} + (-G_{f,d}) \cdot e_{EQU, y} + (-G_{bf,d}) \cdot e_{EQU, y} = \\ &= (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) + (-3,983) \cdot 0,495 + (-12,427) \cdot 0,495 + (-13,561) \cdot 0,495 = -16,486 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Moment wywracający

$$M_{x1, dst} = M_x = 2,25 = 2,25 \text{ kNm}$$

Współczynnik wykorzystania stateczności

$$\Lambda_{EQU, x1} = \left| \frac{M_{x1, dst}}{M_{x1, stb}} \right| = \left| \frac{2,25}{(-16,486)} \right| = 0,13648 \leq \Lambda_{EQU, lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Sprawdzenie obrotu wokół osi - x_2 -

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Moment stabilizujący

$$\begin{aligned} M_{x2,stab} &= M_x + (-V) \cdot (-e_{EQU,y}) + (-G_{f,d}) \cdot (-e_{EQU,y}) + (-G_{bf,d}) \cdot (-e_{EQU,y}) = \\ &= 2,25 + (-3,983) \cdot (-0,495) + (-12,427) \cdot (-0,495) + (-13,561) \cdot (-0,495) = 17,086 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Moment wywracający

$$M_{x2,dst} = F_y \cdot (h_1 + h_2) = (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) = -1,65 \text{ kNm}$$

Współczynnik wykorzystania stateczności

$$\Lambda_{EQU,x2} = \left| \frac{M_{x2,dst}}{M_{x2,stab}} \right| = \left| \frac{(-1,65)}{17,086} \right| = 0,096572 \leq \Lambda_{EQU,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Sprawdzenie obrotu wokół osi - y_1 -

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Moment stabilizujący

$$M_{y1,stab} = V \cdot e_{EQU,x} + G_{f,d} \cdot e_{EQU,x} + G_{bf,d} \cdot e_{EQU,x} = 3,983 \cdot 0,495 + 12,427 \cdot 0,495 + 13,561 \cdot 0,495 = 14,836 \text{ kNm}$$

Moment wywracający

$$M_{y1,dst} = 0 \text{ kNm}$$

Współczynnik wykorzystania stateczności

$$\Lambda_{EQU,y1} = \left| \frac{M_{y1,dst}}{M_{y1,stab}} \right| = \left| \frac{0}{14,836} \right| = 0 \leq \Lambda_{EQU,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Sprawdzenie obrotu wokół osi - y_2 -

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Moment stabilizujący

$$\begin{aligned} M_{y2,stab} &= V \cdot (-e_{EQU,x}) + G_{f,d} \cdot (-e_{EQU,x}) + G_{bf,d} \cdot (-e_{EQU,x}) = \\ &= 3,983 \cdot (-0,495) + 12,427 \cdot (-0,495) + 13,561 \cdot (-0,495) = -14,836 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Moment wywracający

$$M_{y2,dst} = 0 \text{ kNm}$$

Współczynnik wykorzystania stateczności

$$\Lambda_{EQU,y2} = \left| \frac{M_{y2,dst}}{M_{y2,stab}} \right| = \left| \frac{0}{(-14,836)} \right| = 0 \leq \Lambda_{EQU,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Współczynnik wykorzystania stateczności

$$\Lambda_{EQU,max} = 0,136 \leq \Lambda_{EQU,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Obliczenie przesunięcia (poślizgu)

Przesunięcie (poślizg) fundamentu na gruncie

Metoda wymiarowania 2: {A1 "+" M1 "+" R2} (Decydująca)

PN EN 1997-1 Załącznik A

Współczynniki częściowe			
A1	Oddziaływania stałe, niekorzystne	$\gamma_{G,unfav}$	1,35
	Oddziaływania stałe, korzystne	$\gamma_{G,fav}$	1,00
	Oddziaływania zmienne, niekorzystne	$\gamma_{Q,unfav}$	1,50
	Oddziaływania zmienne, korzystne	$\gamma_{Q,fav}$	0,00

M1	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego	γ_{φ}	1,00
	Spójność efektywna	γ_c	1,00
	Wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu	γ_{cu}	1,00
	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	γ_{qu}	1,00
	Ciężar objętościowy	γ_{γ}	1,00
R2	Nośność podłoża	$\gamma_{R,v}$	1,40
	Nośność na przesunięcie (poślizg)	$\gamma_{R,h}$	1,10
	Siły od gruntu	$\gamma_{R,e}$	1,10

Obliczeniowe wartości parametrów gruntu pod fundamentem

Gęstość warstwy gruntu $\rho_s = 2000 \text{ kg/m}^3$

Ciężar objętościowy:

$$\gamma' = \rho_s \cdot g \cdot \gamma_{\gamma} \cdot 10^{-3} = 2000 \cdot 9,810 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 19,62 \text{ kN/m}^3$$

Kąt tarcia wewn.: $\varphi'_k = 35,00^\circ$

Efektywny kąt tarcia wewnętrznego:

$$\varphi' = \text{Arc tg} \frac{\text{tg } \varphi'_k}{\gamma_{\varphi}} = \text{Arc tg} \frac{\text{tg } 35,00^\circ}{1} = 35,00^\circ$$

Spójność: $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$

Spójność efektywna: $c' = \frac{c'_k}{\gamma_c} = \frac{0}{1} = 0 \text{ kN/m}^2$

Kąt tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym $\varphi_{cv} = 32,00^\circ$

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Podpora węzłowa 1

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN}$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Obliczeniowa wartość obciążeń w podstawie fundamentu

$$H_{d,x} = F_x = 0 \text{ kN}$$

$$H_{d,y} = F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_d = \sqrt{H_{d,x}^2 + H_{d,y}^2} = \sqrt{0^2 + (-1,5)^2} = 1,5 \text{ kN}$$

$$V_d = V + (G_{f,k} + G_{bf,k}) \cdot \gamma_{G_{fav}} = 3,983 + (13,808 + 15,068) \cdot 1 = 32,859 \text{ kN}$$

Mimośród siły pionowej (V_d) względem środka podstawy fundamentu

$$e_x = \frac{V \cdot e_{0,x} + M_y + F_x \cdot (h_1 + h_2) + (G_{f,k} \cdot e_{f,x} + G_{bf,k} \cdot e_{bf,x}) \cdot \gamma_{G_{fav}}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 + 0 + 0 \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = 0 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{V \cdot e_{0,y} - M_x + F_y \cdot (h_1 + h_2) + (G_{f,k} \cdot e_{f,y} + G_{bf,k} \cdot e_{bf,y}) \cdot \gamma_{G_{fav}}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 - 2,25 + (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = -0,119 \text{ m}$$

Efektywna szerokość fundamentu:

$$B' = b_y - |e_y| \cdot 2 = 1,1 - |(-0,119)| \cdot 2 = 0,862 \text{ m}$$

Efektywna długość fundamentu:

$$L' = b_x - |e_x| \cdot 2 = 1,1 - |0| \cdot 2 = 1,1 \text{ m}$$

Efektywne pole powierzchni fundamentu:

$$A' = B' \cdot L' = 0,862 \cdot 1,1 = 0,9482 \text{ m}^2$$

Nośność na przesunięcie (poślizg) z odpływem

$$\delta_k = \varphi_{cv} = 32,00^\circ$$

Obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego na styku konstrukcji z gruntem:

$$\delta_d = \text{Arc tg} \left(\frac{\text{tg } \delta_k}{\gamma_\phi} \right) = \text{Arc tg} \left(\frac{\text{tg } 32,00^\circ}{1} \right) = 32,00^\circ$$

Nośność na przesunięcie (poślizg): [PN EN 1997-1 6.5.3 \(8\)P \(6.3a\)](#)

$$R_d = V_d \cdot \text{tg } \delta_d = 32,859 \cdot \text{tg } 32,00^\circ = 20,532 \text{ kN}$$

Wykorzystanie na przesunięcie (poślizg):

$$\Lambda_{R,h,s} = \left| \frac{H_d}{R_d} \right| = \left| \frac{1,5}{20,532} \right| = 0,073 \leq \Lambda_{R,h,s,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Przesunięcie (poślizg) fundamentu na podbetonie

Metoda wymiarowania 2: {A1 "+" M1 "+" R2} (Decydująca)

[PN EN 1997-1 Załącznik A](#)

	Współczynniki częściowe		
A1	Oddziaływania stałe, niekorzystne	$\gamma_{G,unfav}$	1,35
	Oddziaływania stałe, korzystne	$\gamma_{G,fav}$	1,00
	Oddziaływania zmienne, niekorzystne	$\gamma_{Q,unfav}$	1,50
	Oddziaływania zmienne, korzystne	$\gamma_{Q,fav}$	0,00
M1	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego	γ_{ϕ}	1,00
	Spójność efektywna	γ_c	1,00
	Wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu	γ_{cu}	1,00
	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	γ_{qu}	1,00
	Ciężar objętościowy	γ_{γ}	1,00
R2	Nośność podłoża	$\gamma_{R,v}$	1,40
	Nośność na przesunięcie (poślizg)	$\gamma_{R,h}$	1,10
	Siły od gruntu	$\gamma_{R,e}$	1,10

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Podpora węzłowa 1

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN}$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu podbetonu

$$H_{d,x} = F_x = 0 \text{ kN}$$

$$H_{d,y} = F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_d = \sqrt{H_{d,x}^2 + H_{d,y}^2} = \sqrt{0^2 + (-1,5)^2} = 1,5 \text{ kN}$$

$$V_d = V + (G_{f,k} + G_{bf,k}) \cdot \gamma_{G,fav} = 3,983 + (13,808 + 15,068) \cdot 1 = 32,859 \text{ kN}$$

Mimośród siły pionowej (V_d) względem środka podstawy fundamentu

$$e_x = \frac{V \cdot e_{0,x} + M_y + F_x \cdot (h_1 + h_2) + (G_{f,k} \cdot e_{f,x} + G_{bf,k} \cdot e_{bf,x}) \cdot \gamma_{G,fav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 + 0 + 0 \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = 0 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{V \cdot e_{0,y} - M_x + F_y \cdot (h_1 + h_2) + (G_{fk} \cdot e_{fy} + G_{bfk} \cdot e_{bfy}) \cdot \gamma_{G, fav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 - 2,25 + (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = -0,119 \text{ m}$$

Efektywna szerokość fundamentu:

$$B' = b_y - |e_y| \cdot 2 = 1,1 - |(-0,119)| \cdot 2 = 0,862 \text{ m}$$

Efektywna długość fundamentu:

$$L' = b_x - |e_x| \cdot 2 = 1,1 - |0| \cdot 2 = 1,1 \text{ m}$$

Efektywne pole powierzchni fundamentu:

$$A' = B' \cdot L' = 0,862 \cdot 1,1 = 0,9482 \text{ m}^2$$

Współczynnik tarcia między fundamentem a podbetonem: $\mu_{cc} = 0,7$

Współczynnik częściowy dla tarcia między elementami: $\gamma_\mu = 1$

Nośność na przesunięcie (poślizg):

$$R_d = V_d \cdot \frac{\mu_{cc}}{\gamma_\mu} = 32,859 \cdot \frac{0,7}{1} = 23,001 \text{ kN}$$

Wykorzystanie na przesunięcie (poślizg):

$$\Lambda_{R,h,b} = \left| \frac{H_d}{R_d} \right| = \left| \frac{1,5}{23,001} \right| = 0,065 \leq \Lambda_{R,h,b,lim} = 1,000 \quad \text{spełniony!}$$

Sprawdzenie fundamentu

Wymiarowanie zbrojenia

$$d_{x1} = h_1 + h_2 - u_{B,x} = 0,3 + 0,8 - 0,056 = 1,044 \text{ m}$$

$$d_{x2} = h_1 - u_{B,x} = 0,3 - 0,056 = 0,244 \text{ m}$$

$$d_{y1} = h_1 + h_2 - u_{B,y} = 0,3 + 0,8 - 0,068 = 1,032 \text{ m}$$

$$d_{y2} = h_1 - u_{B,y} = 0,3 - 0,068 = 0,232 \text{ m}$$

Zbrojenie podłużne

	X	Y
Górne	Ø 12 mm 13 mm²	Ø 12 mm 13 mm²
Dolne	Ø 12 mm 13 mm²	Ø 12 mm 13 mm²

Wymiarowanie zbrojenia na zginanie

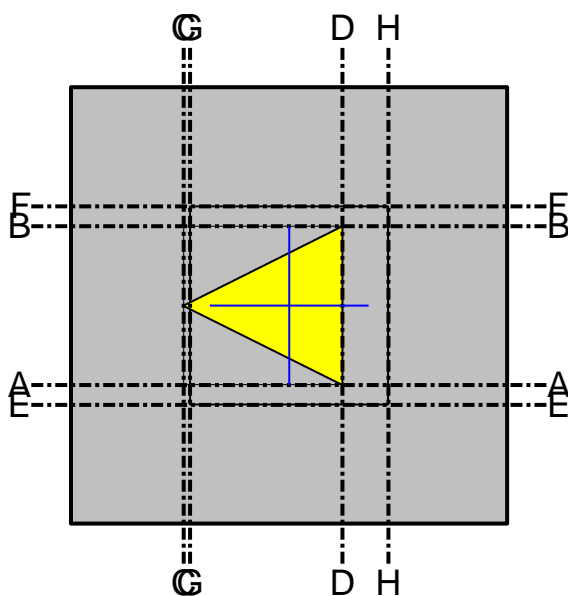
$$\varepsilon_{cu} = -3,500 \text{ ‰}$$

Współczynnik określający efektywną wysokość strefy ściskanej:

$$\lambda = 0,8 \quad \text{PN EN 1992-1-1 3.1.7 (3.19)}$$

Współczynnik określający efektywną wytrzymałość:

$$\eta = 1 \quad \text{PN EN 1992-1-1 3.1.7 (3.21)}$$



Momenty w analizowanych przekrojach poprzecznych:

	Analizowany przekrój poprzeczny	m_d kNm/m	Przypadek obciążenia
1.	A-A	3,2956	Komb #1
2.	B-B	0,7593	Komb #1
3.	C-C	2,1648	Komb #1
4.	D-D	4,6631	Komb #1
5.	E-E	2,4212	Komb #1
6.	F-F	0,37459	Komb #1
7.	G-G	2,4212	Komb #1
8.	H-H	2,4212	Komb #1

Sytuacja obliczeniowa:

Trwała i przejściowa

$$\alpha_{cc} = 1$$

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1,4 \quad f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{25}{1,4} = 17,857 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 500,25 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_s = 1,15 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500,25}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi_0 = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} - \frac{f_{yd}}{E_s}} \cdot \lambda = \frac{(-0,0035)}{(-0,0035) - \frac{f_{yd}}{2 \cdot 10^8}} \cdot 0,8 = 0,49339$$

Wymiarowanie zbrojenia podłużnego na moment zginający M_y

Sprawdzenie na krawędzi podpieranego elementu - przekrój poprzeczny C-C i D-D

Zbrojenie rozciągane w kierunku x

$$m_{d,(C-C)} = 2,1648 \text{ kNm/m} < m_{d,(D-D)} = 4,6631 \text{ kNm/m} \rightarrow m_d = 4,6631 \text{ kNm/m}$$

$$m_d = 4,6631 \text{ kNm/m}$$

$$x_{c0} = d \cdot \xi_0 = 1,044 \cdot 0,49339 = 0,5151 \text{ m}$$

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot m_d}{\eta \cdot f_{cd}}} = 1,044 - \sqrt{1,044^2 - \frac{2 \cdot 4,6631}{1 \cdot 17857}} = 0,00025016 \text{ m} \leq x_{c0} = 0,5151 \text{ m}$$

Powierzchnia zbrojenia rozciąganego:

$$a_{s1} = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot x_c}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 17857 \cdot 0,00025016}{435000} = 1,02693 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m} = 10 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne zbrojenie

$$\rho_{l,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 = \frac{0,26 \cdot 2565}{500250} \geq 0,0013 = 0,0013331 \quad \text{PN EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1)}$$

Minimalne rozciągane zbrojenie podłużne:

$$a_{s,min} = \rho_{l,min} \cdot d = 0,0013331 \cdot 1,044 = 0,0013918 \text{ m}^2/\text{m} = 1392 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne podłużne zbrojenie rozciągane nie jest uwzględniane.

$$s_{max,slabs} = 2 \cdot h = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ m} > 0,25 \rightarrow s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \quad \text{EN-1992-1-1 9.3.1.1 (3)}$$

$$s = \frac{A_s}{a_{s,min}} = \frac{0,0001131}{0,00032528} = 0,34769 \text{ m} > s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \rightarrow s = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Zbrojenie podłużne: $\varnothing 12/250 \text{ mm}$ ($a_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Sprawdzenie na krawędzi odsadzki - przekrój poprzeczny G-G i H-H

Zbrojenie rozciągane w kierunku x

$$m_{d,(G-G)} = 2,4212 \text{ kNm/m} < m_{d,(H-H)} = 2,4212 \text{ kNm/m} \rightarrow m_d = 2,4212 \text{ kNm/m}$$

$$m_d = 2,4212 \text{ kNm/m}$$

$$x_{c0} = d \cdot \xi_0 = 0,244 \cdot 0,49339 = 0,12039 \text{ m}$$

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot m_d}{\eta \cdot f_{cd}}} = 0,244 - \sqrt{0,244^2 - \frac{2 \cdot 2,4212}{1 \cdot 17857}} = 0,00055633 \text{ m} \leq x_{c0} = 0,12039 \text{ m}$$

Powierzchnia zbrojenia rozciąganego:

$$a_{s1,c} = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot x_c}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 17857 \cdot 0,00055633}{435000} = 2,28377 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m} = 23 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne zbrojenie

$$\rho_{l,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 = \frac{0,26 \cdot 2565}{500250} \geq 0,0013 = 0,0013331 \quad \text{PN EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1)}$$

Minimalne rozciągane zbrojenie podłużne:

$$a_{s,min} = \rho_{l,min} \cdot d = 0,0013331 \cdot 0,244 = 0,00032528 \text{ m}^2/\text{m} = 325 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,min} > a_{s1,c} \rightarrow a_{s1} = a_{s,min} = 325 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$s_{max,slabs} = 2 \cdot h = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ m} > 0,25 \rightarrow s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \quad \text{EN-1992-1-1 9.3.1.1 (3)}$$

$$s = \frac{A_s}{a_{s,min}} = \frac{0,0001131}{0,00032528} = 0,34769 \text{ m} > s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \rightarrow s = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Zbrojenie podłużne: $\varnothing 12/250 \text{ mm}$ ($a_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Wymiarowanie zbrojenia podłużnego na moment zginający M_x

Sprawdzenie na krawędzi podpieranego elementu - przekrój poprzeczny A-A i B-B

Zbrojenie rozciągane w kierunku y

$$m_{d,(A-A)} = 3,2956 \text{ kNm/m} \geq m_{d,(B-B)} = 0,7593 \text{ kNm/m} \rightarrow m_d = 3,2956 \text{ kNm/m}$$

$$m_d = 3,2956 \text{ kNm/m}$$

$$x_{c0} = d \cdot \xi_0 = 1,032 \cdot 0,49339 = 0,50918 \text{ m}$$

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot m_d}{\eta \cdot f_{cd}}} = 1,032 - \sqrt{1,032^2 - \frac{2 \cdot 3,2956}{1 \cdot 17857}} = 0,00017884 \text{ m} \leq x_{c0} = 0,50918 \text{ m}$$

Powierzchnia zbrojenia rozciąganego:

$$a_{s1} = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot x_c}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 17857 \cdot 0,00017884}{435000} = 7,34174 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m} = 7 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne zbrojenie

$$\rho_{l,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 = \frac{0,26 \cdot 2565}{500250} \geq 0,0013 = 0,0013331 \quad \text{PN EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1)}$$

Minimalne rozciągane zbrojenie podłużne:

$$a_{s,min} = \rho_{l,min} \cdot d = 0,0013331 \cdot 1,032 = 0,0013758 \text{ m}^2/\text{m} = 1376 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne podłużne zbrojenie rozciągane nie jest uwzględniane.

$$s_{max,slabs} = 2 \cdot h = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ m} > 0,25 \rightarrow s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \quad \text{EN-1992-1-1 9.3.1.1 (3)}$$

$$s = \frac{A_s}{a_{s,min}} = \frac{0,0001131}{0,00030928} = 0,36568 \text{ m} > s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \rightarrow s = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Zbrojenie podłużne: $\varnothing 12/250 \text{ mm}$ ($a_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Sprawdzenie na krawędzi odsadzki - przekrój poprzeczny E-E i F-F

Zbrojenie rozciągane w kierunku y

$$m_{d,(E-E)} = 2,4212 \text{ kNm/m} \geq m_{d,(F-F)} = 0,37459 \text{ kNm/m} \rightarrow m_d = 2,4212 \text{ kNm/m}$$

$$m_d = 2,4212 \text{ kNm/m}$$

$$x_{c0} = d \cdot \xi_0 = 0,232 \cdot 0,49339 = 0,11447 \text{ m}$$

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot m_d}{\eta \cdot f_{cd}}} = 0,232 - \sqrt{0,232^2 - \frac{2 \cdot 2,4212}{1 \cdot 17857}} = 0,00058517 \text{ m} \leq x_{c0} = 0,11447 \text{ m}$$

Powierzchnia zbrojenia rozciąganego:

$$a_{s1,c} = \frac{\eta \cdot f_{cd} \cdot x_c}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 17857 \cdot 0,00058517}{435000} = 2,40219 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m} = 24 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimalne zbrojenie

$$\rho_{l,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 = \frac{0,26 \cdot 2565}{500250} \geq 0,0013 = 0,0013331 \quad \text{PN EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1)}$$

Minimalne rozciągane zbrojenie podłużne:

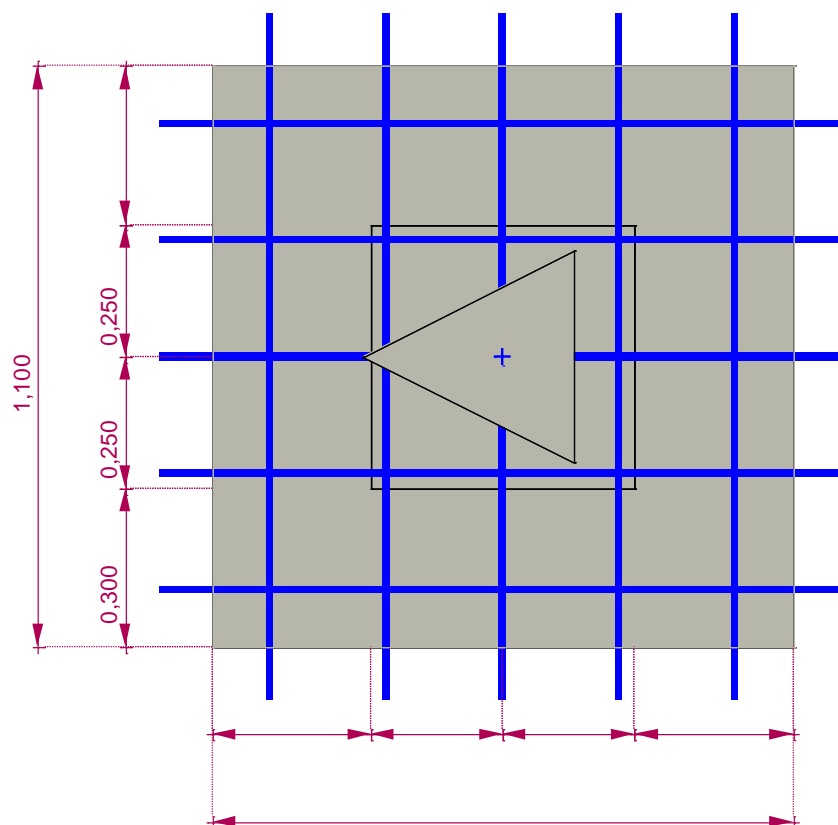
$$a_{s,min} = \rho_{l,min} \cdot d = 0,0013331 \cdot 0,232 = 0,00030928 \text{ m}^2/\text{m} = 309 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,min} > a_{s1,c} \rightarrow a_{s1} = a_{s,min} = 309 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$s_{max,slabs} = 2 \cdot h = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ m} > 0,25 \rightarrow s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \quad \text{EN-1992-1-1 9.3.1.1 (3)}$$

$$s = \frac{A_s}{a_{s,min}} = \frac{0,0001131}{0,00030928} = 0,36568 \text{ m} > s_{max,slabs} = 0,25 \text{ m} \rightarrow s = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

Zbrojenie podłużne: $\varnothing 12/250 \text{ mm}$ ($a_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2/\text{m}$)



Wyznaczanie osiadania

Metoda sumowania odkształceń warstw podłoża

PN EN 1997-1 Załącznik F

Metoda wymiarowania 2: {A1 "+" M1 "+" R2} (Decydująca)

PN EN 1997-1 Załącznik A

Współczynniki częściowe			
A1	Oddziaływania stałe, niekorzystne	$\gamma_{G,unfav}$	1,35
	Oddziaływania stałe, korzystne	$\gamma_{G,fav}$	1,00
	Oddziaływania zmienne, niekorzystne	$\gamma_{Q,unfav}$	1,50
	Oddziaływania zmienne, korzystne	$\gamma_{Q,fav}$	0,00

M1	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego	γ_{φ}	1,00
	Spójność efektywna	γ_c	1,00
	Wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu	γ_{cu}	1,00
	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	γ_{qu}	1,00
	Ciężar objętościowy	γ_{γ}	1,00
R2	Nośność podłoża	$\gamma_{R,v}$	1,40
	Nośność na przesunięcie (poślizg)	$\gamma_{R,h}$	1,10
	Siły od gruntu	$\gamma_{R,e}$	1,10

PN EN 1997-12.4.8 (2) Wartość współczynnika częściowego dla stanu granicznego użytkowości powinna normalnie wynosić 1.0.

Przypadek obciążenia: **Komb #1** (SGN)

Podpora węzłowa 1

Obliczeniowe wartości obciążeń na wierzchu fundamentu - Siły wewn. podpór węzłowych

$$F_x = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$F_z = -3,983 \text{ kN}$$

$$M_x = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V = -F_z = -(-3,983) = 3,983 \text{ kN} (\downarrow)$$

Obliczeniowa wartość obciążeń w podstawie fundamentu

$$H_{d,x} = F_x = 0 \text{ kN}$$

$$H_{d,y} = F_y = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_d = \sqrt{H_{d,x}^2 + H_{d,y}^2} = \sqrt{0^2 + (-1,5)^2} = 1,5 \text{ kN}$$

$$V_d = V + (G_{fk} + G_{bf,k}) \cdot \gamma_{Gfav} = 3,983 + (13,808 + 15,068) \cdot 1 = 32,859 \text{ kN}$$

Mimośród siły pionowej (V_d) względem środka podstawy fundamentu

$$e_x = \frac{V \cdot e_{0,x} + M_y + F_x \cdot (h_1 + h_2) + (G_{fk} \cdot e_{f,x} + G_{bf,k} \cdot e_{bf,x}) \cdot \gamma_{Gfav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 + 0 + 0 \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = 0 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{V \cdot e_{0,y} - M_x + F_y \cdot (h_1 + h_2) + (G_{fk} \cdot e_{f,y} + G_{bf,k} \cdot e_{bf,y}) \cdot \gamma_{Gfav}}{V_d} =$$

$$= \frac{3,983 \cdot 0 - 2,25 + (-1,5) \cdot (0,3 + 0,8) + (13,808 \cdot 0 + 15,068 \cdot 0) \cdot 1}{32,859} = -0,119 \text{ m}$$

Efektywna szerokość fundamentu:

$$B' = b_y - |e_y| \cdot 2 = 1,1 - |(-0,119)| \cdot 2 = 0,862 \text{ m}$$

Efektywna długość fundamentu:

$$L' = b_x - |e_x| \cdot 2 = 1,1 - |0| \cdot 2 = 1,1 \text{ m}$$

Efektywne pole powierzchni fundamentu:

$$A' = B' \cdot L' = 0,862 \cdot 1,1 = 0,9482 \text{ m}^2$$

$$q_{E,d} = \frac{V_d}{A'} = \frac{32,859}{0,9482} = 34,654 \text{ kN/m}^2$$

$$H_B = -1,5 \text{ kN}$$

$$H_L = 0 \text{ kN}$$

$$E_s = \frac{1}{m_v} = \frac{(1 - \mu) \cdot E_{s,lr}}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}$$

Naprężenie normalne pod narożnikiem prostokątnej powierzchni obciążenia na głębokości z wynosi:

$$\sigma_z = \frac{p}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\text{Arc tg} \left(\frac{b}{z} \cdot \frac{a \cdot (a^2 + b^2) - 2 \cdot a \cdot z \cdot (r - z)}{z \cdot (a^2 + b^2) \cdot (r - z) - z \cdot (r - z)^2} \right) \right] + \left[\frac{b \cdot z}{b^2 + z^2} \cdot \frac{a \cdot (r^2 + z^2)}{(a^2 + z^2) \cdot r} \right] \quad \text{za Steinbrennerem}$$

gdzie:

p jest obciążeniem równomiernie rozłożonym na powierzchni nacisku

a i b są długością i szerokością prostokątnej powierzchni nacisku

$$r = \sqrt{a^2 + b^2 + z^2}$$

Naprężenie w punkcie charakterystycznym:

$$\sigma_{z,a} = \sigma_{z,I} + \sigma_{z,II} + \sigma_{z,III} + \sigma_{z,IV}$$

	a	b
$\sigma_{z,I}$	$(0,5 - 0,37) \cdot L' = 0,143$	$(0,5 - 0,37) \cdot B' = 0,11206$
$\sigma_{z,II}$	$(0,5 + 0,37) \cdot L' = 0,957$	$(0,5 - 0,37) \cdot B' = 0,11206$
$\sigma_{z,III}$	$(0,5 + 0,37) \cdot L' = 0,957$	$(0,5 + 0,37) \cdot B' = 0,74994$
$\sigma_{z,IV}$	$(0,5 + 0,37) \cdot B' = 0,74994$	$(0,5 - 0,37) \cdot L' = 0,143$

Odległość punktu charakterystycznego do osi środkowych powierzchni obciążonej wynosi $0,37B'$ i $0,37L'$.

Efektywne naprężenie od nadkładu w podstawie fundamentu:

$$q' = \gamma_\gamma \cdot \text{Sum} \gamma_i \cdot h_i$$

$$q' = 21,582 \text{ kN/m}^2$$

Efektywne naprężenie pionowe od obciążenia fundamentem w poziomie posadowienia:

$$q_{E,d} = \frac{V_d}{A'} = \frac{32,859}{0,9482} = 34,654 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{E,d} = 34,654 \text{ kN/m}^2$$

$$p = q_{E,d} - q' = 34,654 - 21,582 = 13,072 \text{ kN/m}^2$$

Efektywne naprężenie pionowe od obciążenia fundamentem na głębokości oddziaływania:

$$\sigma_{D_{lim}} = 5,3863 \text{ kN/m}^2$$

Efektywne naprężenie od nadkładu na głębokości oddziaływania:

$$q_{D_{lim}} = 26,931 \text{ kN/m}^2$$

Głębokość oddziaływania:

$$D_{lim} = -1,3727 \text{ m}$$

Głębokość ta zwykle może być przyjęta jako głębokość, na której efektywne naprężenie pionowe od fundamentu stanowi 20% efektywnego naprężenia od nadkładu. [PN EN 1997-1 6.6.2 \(6\)](#)

Osiadanie:

$$s = \sum s_i$$

$$s = 0,033 \text{ mm}$$

$$s = 0,033 \text{ mm} \leq s_{lim} = 10,000 \text{ mm} \quad \text{spełniony!}$$

i	z_0 [m]	h_i [m]	$h_{i,eq}$ [m]	σ_z [kN/m ²]	q' [kN/m ²]	σ_z/q' [%]	s_i [mm]	$\sum s_i$ [mm]
0.	0	0	0	0	0	—	0	0
1.	− 0,1	0,1	0,16789	0	1,962	0	0	0
2.	− 0,2	0,1	0,16789	0	3,924	0	0	0
3.	− 0,3	0,1	0,16789	0	5,886	0	0	0
4.	− 0,4	0,1	0,16789	0	7,848	0	0	0
5.	− 0,5	0,1	0,16789	0	9,81	0	0	0
6.	− 0,6	0,1	0,16789	0	11,772	0	0	0
7.	− 0,7	0,1	0,16789	0	13,734	0	0	0
8.	− 0,8	0,1	0,16789	0	15,696	0	0	0
9.	− 0,9	0,1	0,16789	0	17,658	0	0	0
10.	− 1	0,1	0,16789	0	19,62	0	0	0
11.	− 1,1	0,1	0,16789	13,072	21,582	60,568	0	0
12.	− 1,2	0,1	0,16789	9,402	23,544	39,934	0,016	0,016
13.	− 1,3	0,1	0,16789	6,4149	25,506	25,15	0,011	0,027
14.	− 1,3727	0,072652	0,12197	5,3863	26,931	20	0,006	0,033
15.	− 1,4	0,027348	0,045914	4,9991	27,468	18,2	0,002	0,036
16.	− 1,5	0,1	0,16789	4,0839	29,43	13,877	0,023	0,059
17.	− 1,6	0,1	0,1	3,6509	31,441	11,612	0,020	0,078

gdzie

z_0 : Głębokość

h_i : Grubość warstwy gruntu

$h_{i, equ}$: Równoważna grubość

$$h_{i, equ} = h_i \cdot \left(\frac{E_{s,i}}{E_s} \cdot \frac{\rho}{\rho_i} \right)^{\frac{1}{2,5}}$$

gdzie

ρ_i : Gęstość warstwy gruntu

$E_{s,i}$: Moduł ściśliwości warstwy gruntu

E_s : Moduł ściśliwości referencyjnej warstwy gruntu

$$E_s = \frac{E_0}{1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu}}$$

ρ : Gęstość referencyjnej warstwy gruntu

σ_z : Efektywne naprężenie pionowe od obciążenia fundamentem

q : Efektywne naprężenie od nadkładu

s_i : Osiadanie warstwy gruntu

s_z : Całkowite osiadanie na danej głębokości

Opracował:

mgr inż. Kamil Kawczyński

POM/0011/PBKb/18
do projektowania bez ograniczeń

Sprawdziła:

mgr inż. Anna Grzybek

POM/0207/PBKb/18
do projektowania bez ograniczeń
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej