

Zadanie obliczeniowe nr 3:

Opór graniczny podłoża pod fundamentem bezpośrednim.

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności podłoża (ULS) na przykładzie stopy fundamentowej na podłożu jednorodnym obciążonej siłą pionową i poziomą oraz momentem wywracającym.

Zakres obliczeń obejmuje sprawdzenie możliwości wyparcia gruntu spod fundamentu dla sytuacji obliczeniowej trwałej, odpowiadającej warunkom eksploatacji obiektu (warunki „z odpływem”) oraz przejściowej (warunki „bez odpływu”).

Założenie:

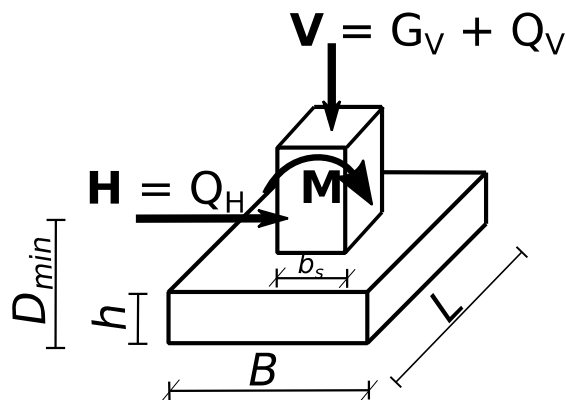
podłoże jednorodne z gruntu spoistego o parametrach (wartości charakterystyczne):

ϕ' , c' - na podstawie wyników zadania nr 2 (parametry wytrzymałościowe)

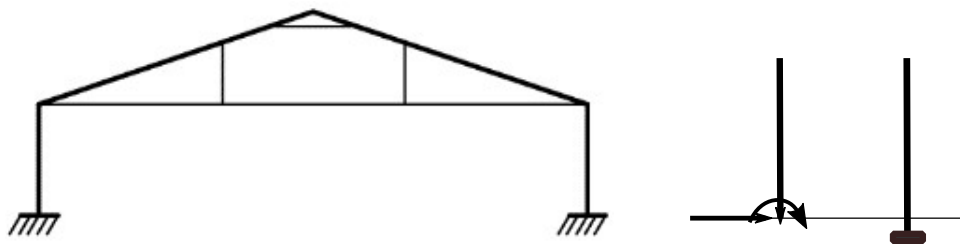
$$c_u = 40 + 1,8 \cdot N_{\text{tematu}} \text{ [kPa]}$$

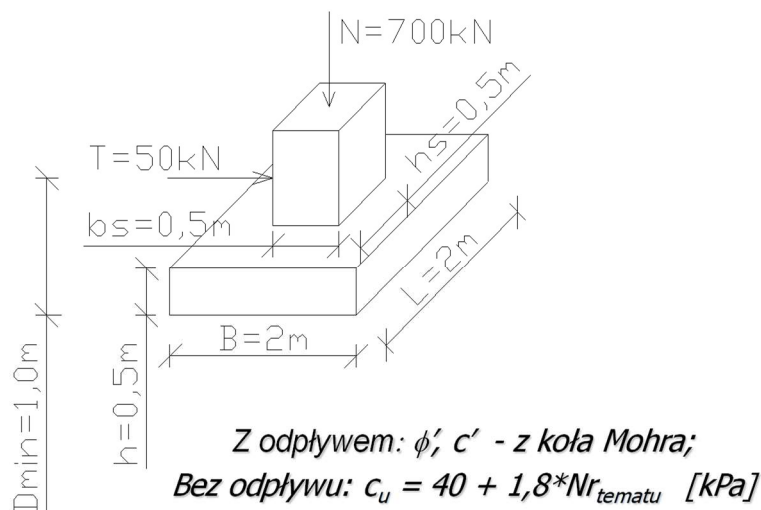
$$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$$

Stopa obciążona siłami o wartościach zestawionych w tabeli w pliku: Stopa-dane.pdf



W obliczeniach uwzględnić głębokość posadowienia i wysokość części podziemnej słupa.





Obliczenia zostaną przeprowadzone dla stopy fundamentowej kwadratowej o wymiarach przedstawionych na powyższym rysunku. Stopa obciążona jest:

- siłą pionową od obciążeń stałych $G_{V;k} = 1200\text{kN}$,
- siłą pionową od obciążeń zmiennych $Q_{V;k} = 150\text{kN}$,
- siłą poziomą od obciążeń zmiennych $Q_{H;k} = 110\text{kN}$,
- momentem wywracającym $M_k = 120\text{kNm}$.

Głębokość posadowienia D wynosi 1,0m, grunt spoisty *sasiCl* (glina ilasta), nie skonsolidowany w stanie twaroplastycznym. Poziom wody gruntowej 4,0m poniżej poziomu terenu, parametry geotechniczne gruntu podano poniżej:

$$\gamma_k = 22,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}, \quad \varphi_k' = 19,0^\circ, \quad c_k' = 33,0 \text{ kPa}, \quad c_u = 150 \text{ kPa}$$



POPRAWKA do POLSKIEJ NORMY

ICS 91.010.30; 93.020

PN-EN 1997-1:2008/Ap2

wrzesień 2010

Przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności podłoża (GEO) należy stosować:

- przy sprawdzaniu stateczności ogólnej – podejście obliczeniowe 3,
- przy sprawdzaniu pozostałych stanów granicznych – podejście obliczeniowe 2.

W podejściu obliczeniowym 2 obliczenia należy wykonać przyjmując wszystkie wartości charakterystyczne, a współczynniki częściowe stosować przy sprawdzaniu warunku nośności, tj. opór graniczny podłoża należy wyznaczać z wzoru 2.7b, przyjmując wartość współczynnika obciążeń $\gamma_F = 1,0$

$$R_d = R\{\gamma F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\} \quad (2.7a)$$

or

$$R_d = R\{\gamma F_{rep}; X_k; a_d\}/\gamma_R \quad (2.7b)$$

or

$$R_d = R\{\gamma F_{rep}; X_k/\gamma_M; a_d\}/\gamma_R \quad (2.7c)$$

			stany graniczne nośności – podejście 2			stateczność ogólna – podejście 3		
			A ₁	M ₁	R ₂	A ₂	M ₂	R ₃
do oddziaływań	stałe	niekorzystne	1,35					
		korzystne	1,0					
	zmienne	niekorzystne	1,5					
do właściwości gruntu	tan φ			1,0			1,25	
	efektywna spójność			1,0			1,25	
	wytrzymałość bez odpływu			1,0			1,4	
	wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie			1,0			1,4	
	ciężar objętościowy			1,0			1,0	
do oporu gruntu	fundamenty bezpośrednie	wyparcie			1,4			
		poślizg			1,1			
	pale	podstawa			1,1			
		pobocznicza			1,1			
		całkowity opór			1,1			
	kotwy	wyciąganie			1,15			
		tymczasowe			1,1			
	ściany oporowe	trwale			1,1			
		wyparcie			1,4			
		opór ze względu na poślizg			1,1			
	skarpy	odpór graniczny			1,4			
		opór graniczny						1,0

Procedura obliczeniowa wg EC7, podejście projektowe DA2

Wartości obliczeniowe parametrów gruntowych:

φ_d' – efektywny obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego gruntu

$$\varphi_d' = \arctg(tg(\varphi_k')/\gamma_{\phi'}) = \arctg(tg(19,0^\circ)/1,0) = 19,0^\circ$$

c_d' – efektywna obliczeniowa spójność gruntu

$$c_d' = c'_k/\gamma_c = 33,0/1,0 = 33,0 kPa$$

γ_d' – obliczeniowy efektywny ciężar objętościowy gruntu poniżej poziomu posadowienia

$$\gamma_d' = \gamma_d = \gamma_k/\gamma_\gamma = 22,0/1,0 = 22,0 kN/m^3$$

$$c_{ud} = c_{uk}/\gamma_{cu} = 150,0/1,0 = 150,0 kPa$$

c_{ud} -obliczeniowa wytrzymałość gruntu przy szybkim ścinaniu bez odpływu

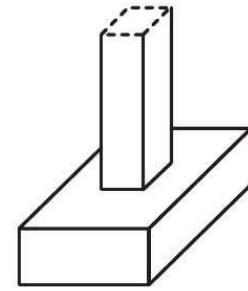
Przyjęte wymiary słupa $b_s = 0.5 \text{ m}$, $l_s = 0.5 \text{ m}$

Wysokość fundamentu: $h_f = 0,4 \text{ m} \div 0,7 \text{ m} \sim 0,9 \times s$

s – szerokość odsadzki; $s = 0,5 \times (B - b_s) = 0,75 \text{ m}$

wysokość fundamentu: $h_f \sim 0,9 \times s = 0,5 \text{ m}$

Wymiary stopy: $B = 2,0 \text{ m}$; $L = 2,0 \text{ m}$



stopa fundamentowa

Obciążenia dodatkowe:

Wysokość warstwy gruntu na odsadzkach:

$$h_g = D - h_f = 1,0 - 0,50 = 0,50 \text{ m} = h_s$$

Ciężar gruntu na odsadzkach (założono, że ciężar objętościowy zasypki jest taki sam, jak gruntu warstwy I):

$$V_{Gk1} = (B \times L - b_s \times l_s) \times h_g \times \gamma = (2,0 \times 2,0 - 0,5 \times 0,5) \times 0,5 \times 22,0 = 41,25 \text{ kN}$$

Ciężar fundamentu (przyjęto ciężar objętościowy żelbetu z betonu na kruszywie kamiennym, zagęszczony i zbrojony $\gamma_{fk} = 25 \text{ kN/m}^3$):

$$V_{Gk2} = B \times L \times h_f \times \gamma_{fk} = 2,0 \times 2,0 \times 0,5 \times 25 = 50,0 \text{ kN}$$

Ciężar części podziemnej słupa:

$$V_{Gk3} = b_s \times l_s \times h_s \times \gamma_{fk} = 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 25 = 3,125 \text{ kN}$$

Obliczenie sumy obciążeń pionowych przekazywanych na grunt:

$$\begin{aligned} V_k &= G_{Vk} + Q_{Vk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} = 1200 + 150 + 41,25 + 50,0 + 3,125 = \\ &= 1444,375 \text{ kN} \end{aligned}$$

Wartość mimośrodu początkowego:

$$e_0 = \frac{M_k}{V_k} = \frac{120}{1444,375} = 0,083 \text{ m}$$

Wartość mimośrodu działania wypadkowej obciążeń:

$$e_b = \frac{V_k \cdot e_0 + H_k \cdot D}{V_k} = \frac{1444,375 \cdot 0,083 + 110 \cdot 1,0}{1444,375} = 0,159 \text{ m}$$

$$V_d = (G_{Vk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3}) \cdot \gamma_G + Q_{Vk} \cdot \gamma_Q = (1200 + 41.25 + 50.0 + 3.125) \times 1.35 + 150 \times 1.5 = 1972.41 \text{ kN}$$

Efektywne wymiary fundamentu

$$B' = B - 2e_B = 2.00 - 2 \times 0.16 = 1.68 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_L = 2.00 \text{ m}$$

$$\text{Efektywne pole fundamentu: } A' = B' \times L' = 3.36 \text{ m}^2$$

Proporcje wymiarów efektywnych:

$$\frac{B'}{L'} = \frac{1.68}{2.00} = 0.84$$

Sytuacja długotrwała, warunki z odpływem

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

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

q' – efektywny obliczeniowy nacisk nadkładu w poziomie fundamentu

$$q' = \gamma_d' \cdot D = 22,0 \cdot 1,0 = 22,0 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{koniec części I}]$$

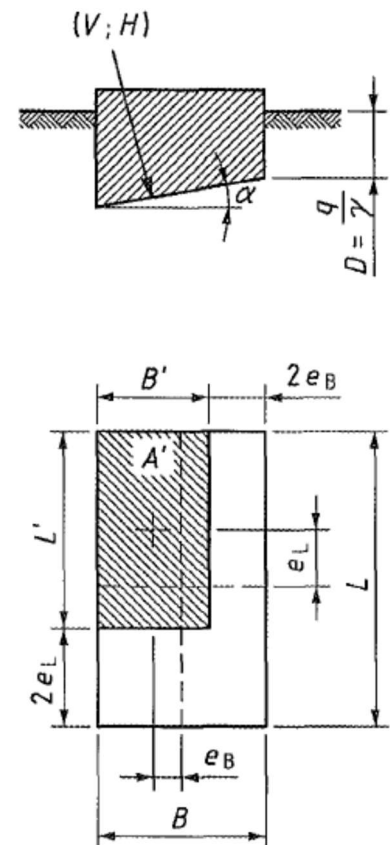
Wartości współczynników nośności:

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg} \varphi'} \cdot \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) = e^{\pi \cdot \text{tg}(19)} \cdot \text{tg}^2 \left(45 + \frac{19}{2} \right) = 5.80$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\varphi') = (5.8 - 1) \cdot \text{ctg}(19) = 13.93$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg}(\varphi'), \quad \text{jeżeli } \delta \geq \varphi'/2 \quad (\text{w przypadku szorstkiej podstawy})$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (5.8 - 1) \cdot \text{tg}(19) = 3.30$$



Rysunek D.1 — Oznaczenia

Współczynniki uwzględniające wpływ przechylenia podstawy fundamentu przyjęto równe jedności ($\alpha = 0$).

$$b_q = b_c = b_\gamma = 1$$

Współczynniki kształtu obliczone jak dla fundamentu prostokątnego:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \phi' = 1 + 0,84 \cdot \sin(19^\circ) = 1,27$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 - 0,3 \cdot 0,84 = 0,75$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1,27 \cdot 5,80 - 1}{5,80 - 1} = 1,33$$

Współczynniki nachylenia obciążenia.

Składowa pionowa wypadkowej obciążenia charakterystycznego:

$$V = V_k = 1444.375 \text{ kN}$$

$$H = H_k = Q_{H;k} = 110 \text{ kN}$$

$$m = m_B = \frac{2 + (B'/L')}{1 + (B'/L')} = [2 + 0,84]/[1 + 0,84] = 1,54$$

dla siły działającej na kierunku B,

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot ctg \phi'}\right]^m = \left[1 - 110 / (1444,375 + 3,36 \cdot 33 \cdot ctg(19^\circ))\right]^{1,54} = 0,906$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot tg \phi'} = 0,906 - (1 - 0,906) / (13,93 \cdot tg(19^\circ)) = 0,886$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot ctg \phi'}\right]^{m+1} = \left[1 - 110 / (1444,375 + 3,36 \cdot 33 \cdot ctg(19^\circ))\right]^{2,54} = 0,849$$

Wyliczenie oporu granicznego (z odpływem):

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

$$R / A' = 33 \cdot 13,93 \cdot 1,0 \cdot 1,33 \cdot 0,886 + 22,0 \cdot 5,80 \cdot 1,0 \cdot 1,27 \cdot 0,906 + 0,5 \cdot 22,0 \cdot 1,68 \cdot 3,30 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 0,849$$

$$R / A' = 728,0 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$R = A' \cdot 728,0 = 2448,3 \text{ kN}$$

Sprawdzenie warunku nośności:

$$R_d = R / \gamma_{Rv} = 2448,3 / 1,4 = 1748,8 \text{ kN} < V_d = 1972,4 \text{ kN}$$

Warunek niespełniony → nośność przekroczona.

Sytuacja przejściowa, warunki bez odpływu

Ze względu na spoisty charakter materiału gruntowego znajdującego się w podłożu fundamentu oraz ze względu na brak informacji dotyczących terminu przyłożenia docelowego obciążenia, sprawdzono nośność podłoża w warunkach wytrzymałości przejściowej bez uwzględnienia zjawiska rozpraszania nadwyżki ciśnienia w porach gruntu, stosując formułę na jednostkowy opór graniczny wg PN-EN 1997-1, Załącznik informacyjny D, pkt D.3:

$$\frac{R}{A'} = (\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q$$

Współczynnik kształtu podstawy fundamentu

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 + 0.2 \cdot 0.84 = 1.17$$

Współczynnik nachylenia obciążenia

- warunek maksymalnego oddziaływania poziomego na podłoże:

$$H_k \leq A' \cdot c_u$$

$$H_k = 110 \text{ kN} < A' \cdot c_u = 3.36 \times 150.0 = 504.0 \text{ kN} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_k}{A' c_u}} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{110}{504.0}} \right) = 0.94$$

Współczynnik nachylenia podstawy fundamentu

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} = 1 - \frac{2 \cdot 0}{\pi + 2} = 1.0$$

Naprężenie od nadkładu lub obciążenia w poziomie podstawy fundamentu

$$q = D \cdot \gamma = 1.0 \times 22.0 = 22.0 \text{ kPa}$$

Charakterystyczny opór podłoża na wyparcie w warunkach „bez odpływu”

$$R_k = A' \cdot [(\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q] = 3.36 \cdot [(\pi + 2) \cdot 150.0 \cdot 1.17 \cdot 0.94 \cdot 1.0 + 22.0]$$

$$R_k = 2928.5 \text{ kN}$$

Obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „bez odpływu”

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{2928.5}{1.4} = 2091.8 \text{ kN}$$

Warunek nośności podłoża w warunkach „bez odpływu”

$$R_d \geq V_d$$

$$R_d = 2091.8 \text{ kN} \geq V_d = 1972.4 \text{ kN}$$

WARUNEK SPEŁNIONY