

Tok postępowania przy projektowaniu fundamentu bezpośredniego obciążonego mimośrodowo wg wytycznych PN-EN 1997-1 Eurokod 7

I. Dane do projektowania

- Obciążenia stałe charakterystyczne:

$V_k =$ (pionowe)

$H_k =$ (poziome)

$M_k =$ (moment)

- Obciążenia zmienne charakterystyczne:

$Q_{1k} =$ (pionowe)

$Q_{2k} =$ (poziome)

$Q_{3k} =$ (moment)

- Wymiary słupa:

$a_{sL} =$

$a_{sB} =$

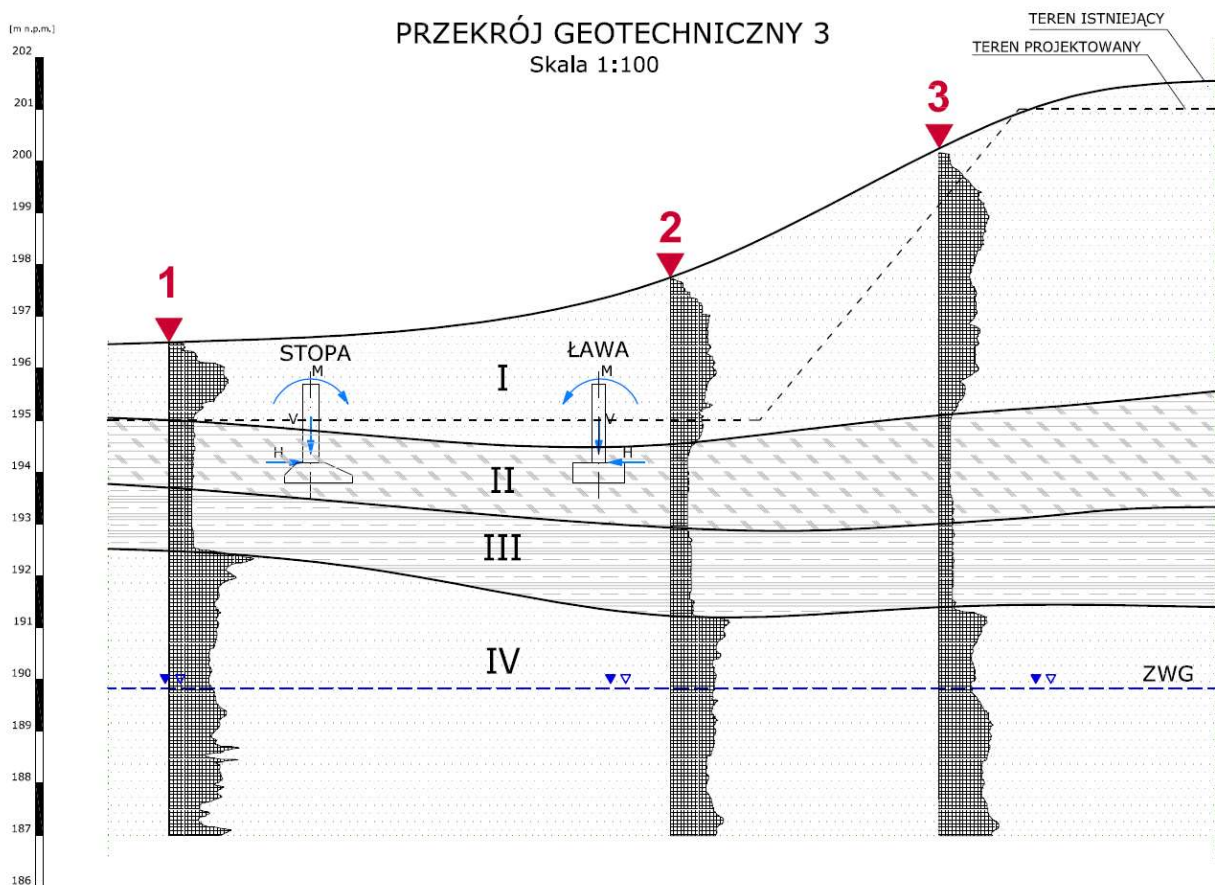
- Lokalizacja: ...

- Poziom posadzki względem terenu:

$d_p =$

- Grubość posadzki:

$h_p =$



1. Tabela właściwości gruntów

Warstwa	Grunt	q_c	I_L/I_D	Stan	φ'	c'	c_u	ρ	γ	γ'	M_o	β	M
		[MPa]	[-]		[°]	[kPa]	[kPa]	[t/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[MPa]	[-]	[MPa]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
I													
II													
III													
IV													

[1] Numer warstwy (z tematu)

[2] Nazwa i symbol gruntu (z tematu)

[3] średni opór stożka z sondowania CPTU dla warstwy geotechnicznej (z tematu)

[4] stopień plastyczności/zagęszczenia gruntu spoistego/niespoistego (z tematu)

[5] stan gruntu (określić)

[6] efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu (z tematu)

[7] efektywna spójność gruntu (z tematu)

[8] wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu (z tematu)

[9] gęstość objętościowa gruntu (z normy PN-81/B-03020)

[10] ciężar objętościowy gruntu (obliczyć)

[11] efektywny ciężar objętościowy gruntu (obliczyć)

[12] moduł ściśliwości pierwotnej (z tematu)

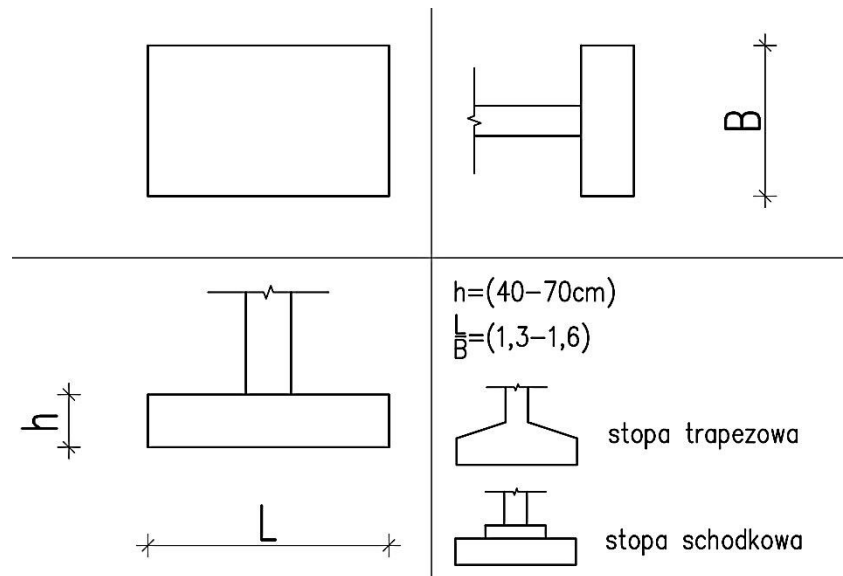
[13] wskaźnik skonsolidowania gruntu (z normy PN-81/B-03020)

[14] moduł ściśliwości wtórnej (obliczyć)

2. Przyjęcie geometrii fundamentu

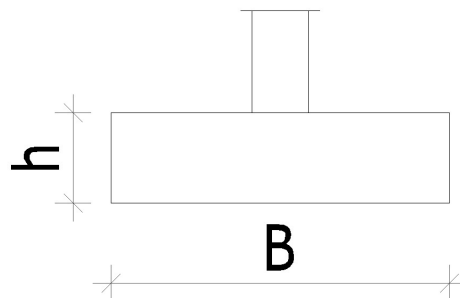
a) STOPA FUNDAMENTOWA

Wymiary stopy fundamentowej należy przyjąć tak, aby stosunek długości krawędzi $\frac{L}{B}$ mieścił się w granicach (1,3÷1,6). Wysokość stopy powinna mieścić się w granicach (0,4÷ 0,7m). W przypadku gdy wysokość projektowanej stopy musi być większa niż 0,7m należy zaprojektować stopę trapezową lub schodkową.



b) ŁAWA FUNDAMENTOWA

Przyjąć wymiar poprzeczny ławy „B” z założeniem długości nieskończonej $L = \infty$ gdy liczona jest smukłość ($B/L = 0$) oraz długości $L = 1 \text{ m}$ gdy liczona jest pole powierzchni.



3. Określenie poziomu posadowienia

a) STOPA FUNDAMENTOWA

b) ŁAWA FUNDAMENTOWA

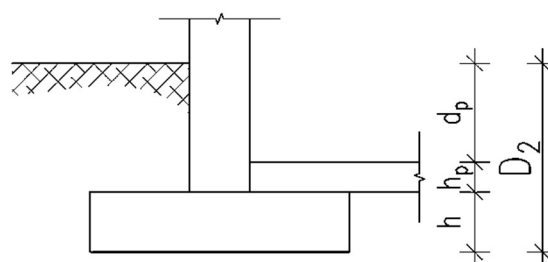
Poziom posadowienia w projekcie należy przyjąć analizując:

D_1 - poziom przemarzania gruntu zależny od stref (Rys.1 w normie PN-81/B-03020)

D_2 - konstrukcję budynku (np. grubość posadzki i jej poziom względem terenu).

Jako poziom posadowienia należy przyjąć wartość większą z wyznaczonych.

$$D = \max\{D_1, D_2\}$$

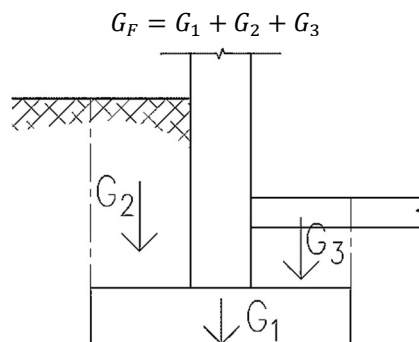


4. Obliczenie ciężaru fundamentu wraz z zasypem

- a) STOPA FUNDAMENTOWA
 b) ŁAWA FUNDAMENTOWA (liczymy ciężar 1mb ławy)

Jako ciężar fundamentu należy przyjąć sumę:

- G_1 ciężar fundamentu żelbetowego,
 G_2 ciężar gruntu nad stopą po lewej stronie,
 G_3 ciężar gruntu i posadzki nad stopą po stronie prawej.

**5. Określenie współczynników częściowych**

Podejście projektowe **DA2** (A1+M1+R2)

Na podstawie PN-EN 1997-1 zał. A.3, A.4 i A.5 należy wyznaczyć następujące współczynniki dla danego podejścia projektowego:

A

- γ_{Gn} - wsp. częściowy do obciążeń stałych niekorzystnych
 γ_{Gk} - wsp. częściowy do obciążeń stałych korzystnych
 γ_{Qn} - wsp. częściowy do obciążeń zmiennych niekorzystnych
 γ_{Qk} - wsp. częściowy do obciążeń zmiennych korzystnych

M

- γ_{ϕ} - wsp. częściowy do tangensa kąta tarcia wewnętrznego
 γ_c - wsp. częściowy do spójności efektywnej
 γ_Y - wsp. częściowy do ciężaru objętościowego
 γ_{cu} - wsp. częściowy do wytrzymałości na ścinanie bez odpływu

R

- γ_{Rv} - wsp. częściowy do nośności podłoża
 γ_{Rh} - wsp. częściowy do przesuwu

A. STOPA FUNDAMENTOWA

II. Sprawdzenie stanu granicznego nośności GEO

Obliczenie nośności podłoża.

1. Określenie wartości obliczeniowych oddziaływań

$$V_d = \gamma_{Gn} * (V_k + G_F) + \gamma_{Qn} * Q_{1k}$$

$$H_d = \gamma_{Gn} * H_k + \gamma_{Qn} * Q_{2k}$$

$$M_d = \gamma_{Gn} * M_k + \gamma_{Qn} * Q_{3k}$$

2. Określenie wartości obliczeniowych parametrów geotechnicznych

Wartości obliczeniowe wyznaczamy dla gruntu, w którym posadowiony jest fundament.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_Y} - \text{wartość obliczeniowa ciężaru objętościowego}$$

$$c'_d = \frac{c_k}{\gamma_c} - \text{wartość obliczeniowa spójności gruntu}$$

$$\varphi_d = \text{atan}\left(\frac{\tan\varphi_k}{\gamma_\varphi}\right) - \text{wartość obliczeniowa kąta tarcia wewnętrznego}$$

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}} - \text{wartość obliczeniowa wytrzymałości na ścinanie bez odplywu}$$

3. Wyznaczenie mimośrodu działania sił

Mimośród wyznacza się względem środka ciężkości podstawy fundamentu, schemat został pokazany na rysunku. Przy obciążeniu zadany w jednej płaszczyźnie „L” należy wyznaczyć jedynie e_L , natomiast $e_B=0$. Obliczenia prowadzić na wartościach charakterystycznych.

a) Od obciążeń stałych e_{LG}

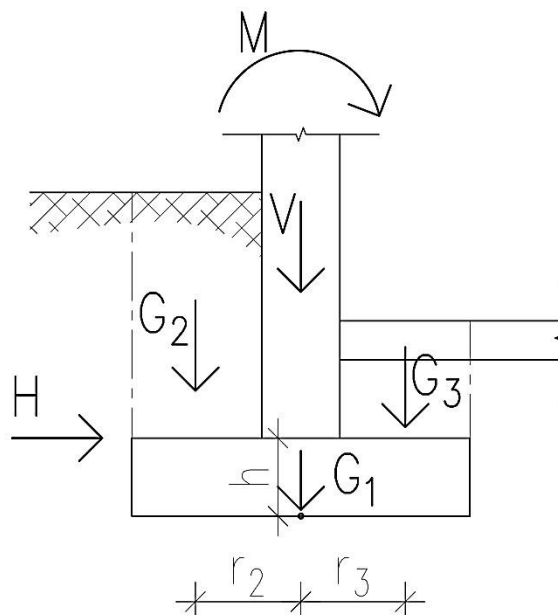
$$M_{pG} = M_k + H_k * h + G_3 * r_3 - G_2 * r_2$$

$$e_{LG} = \frac{M_{pG}}{V_k + G_F}$$

b) Od obciążeń stałych i zmiennych e_{LQ}

$$M_{pQ} = M_k + Q_{3k} + (H_k + Q_{2k}) * h + G_3 * r_3 - G_2 * r_2$$

$$e_{LQ} = \frac{M_{pQ}}{V_k + G_F + Q_{1k}}$$



4. Sprawdzenie warunku maksymalnego mimośrodru

a) Od obciążeń stałych

$$e_{L,G} \leq \frac{L}{6}$$

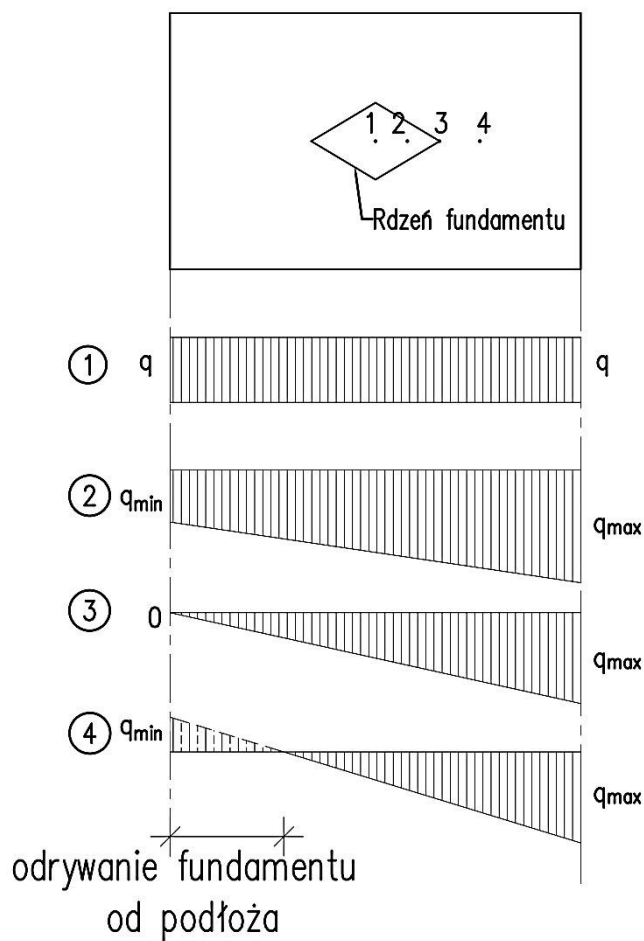
Wypadkowa sił powinna znajdować się w rdzeniu podstawy. Rozkład naprężeń przekazywanych na grunt dla poszczególnych przypadków mimośrodu przedstawiono na rysunku.

b) Od obciążeń stałych i zmiennych

$$e_{L,Q} \leq \frac{L}{3}$$

Wartość $\frac{L}{3}$ jest wartością dopuszczalną określoną przez PN-EN 1997-1.

Jeśli warunki te nie są spełnione należy zaprojektować stopę niesymetryczną przesuwając środek ciężkości podstawy stopy. W stopie niesymetrycznej do momentu wliczamy dodatkowo siłę pionową przekazywaną przez słup.



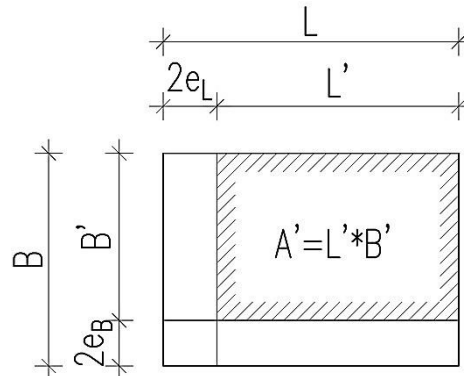
5. Wyznaczenie efektywnego pola podstawy fundamentu

$A' = L' * B'$ - efektywne pole podstawy

$B' = B - 2e_B$ - efektywna szerokość fundamentu

$L' = L - 2e_L$ - efektywna długość fundamentu.

Efektywne pole podstawy wyznacza się dla mimośrodów od obciążeń stałych i zmiennych.

**6. Określenie nośności podłoża w warunkach „z odpływem”**

Obliczenia przeprowadzić zgodnie z PN – EN 1997-1 zał. D.4

Nośność charakterystyczna:

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

- Wyznaczenie współczynników (stosując wartości charakterystyczne parametrów gruntu oraz obciążeń)
 - nośności - N_q, N_c, N_γ
 - nachylenia podstawy fundamentu - b_q, b_c, b_γ
 - kształtu fundamentu - s_q, s_c, s_γ
 - nachylenia obciążenia - i_q, i_c, i_γ
- Obliczenie naprężeń od nakładu w poziomie podstawy fundamentu, Wzór ogólny:

$$q' = D * \gamma$$

γ – średni ciężar objętościowy gruntu powyżej poziomu posadowienia. Należy obliczyć naprężenia z prawej i lewej strony fundamentu (q_L, q_P), do obliczeń przyjąć wartość mniejszą.

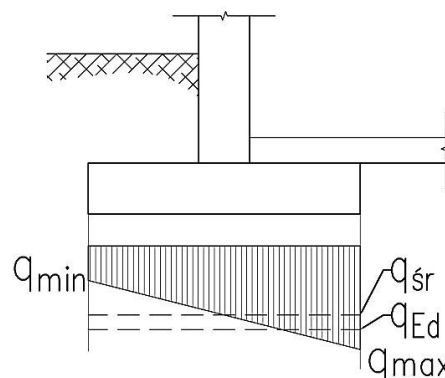
- Obliczenie nośności charakterystycznej podłoża.

$$q_{Rk1} = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

- Obliczenie nośności obliczeniowej podłoża.

$$q_{Rd1} = \frac{q_{Rk1}}{\gamma_{Rv}}$$

- Wyznaczenie rozkładu naprężeń przekazywanych na grunt



$$q_{Ed} = \frac{V_d}{A'}$$

$$q_{min} = \frac{V_d}{B * L} * \left(1 - \frac{6e_{LQ}}{L}\right)$$

$$q_{max} = \frac{V_d}{B * L} * \left(1 + \frac{6e_{LQ}}{L}\right)$$

f) Stopień wykorzystania nośności podłoża:

$$N = \frac{q_{Ed}}{q_{Rd1}} = (0,8 - 1,0)$$

7. Określenie nośności podłoża w warunkach „bez odpływu”

Obliczenia przeprowadzić zgodnie z PN – EN 1997-1 zał. D.3

Nośność charakterystyczna:

$$R/A' = (\pi + 2) c_u b_c s_c i_c + q$$

a) Wyznaczenie współczynników (stosując wartości charakterystyczne parametrów gruntu oraz obciążeń)

- nachylenia podstawy - b_c
- kształtu fundamentu - s_c
- nachylenia obciążenia - i_c

b) Obliczenie naprężeń od nakładu w poziomie podstawy fundamentu,
Wzór ogólny:

$$q = D * \gamma$$

c) Obliczenie nośności charakterystycznej podłoża.

$$q_{Rk2} = (\pi + 2) c_u b_c s_c i_c + q$$

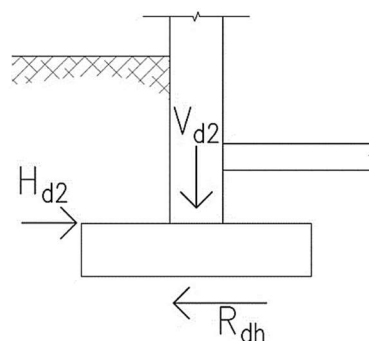
d) Obliczenie nośności obliczeniowej podłoża.

$$q_{Rd2} = \frac{q_{Rk2}}{\gamma_{Rv}}$$

g) Wykorzystanie nośności podłoża:

$$q_{Ed} < q_{Rd2}$$

8. Sprawdzenie nośności na przesuw



a) Wyznaczenie wartości obliczeniowych obciążeń

Obciążenia pionowe należy policzyć stosując współczynniki częściowe korzystne, ze względu na ich korzystny wpływ na tarcie fundamentu o podłoże. W projekcie założono, że parcie od gruntu na ścianę budynku zostało uwzględnione w reakcji H_k .

$$V_{d2} = \gamma_{Gk} * (V_k + G_F) + \gamma_{Qk} * Q_{1k}$$

$$H_{d2} = \gamma_{Gn} * H_k + \gamma_{Qn} * Q_{2k}$$

b) Kąt tarcia styku fundamentu z gruntem

$$\delta = k * \varphi$$

k – współczynnik chropowatości podstawy

(1 – chropowata, formowanie na budowie; $\frac{2}{3}$ – gładka, prefabrykat)

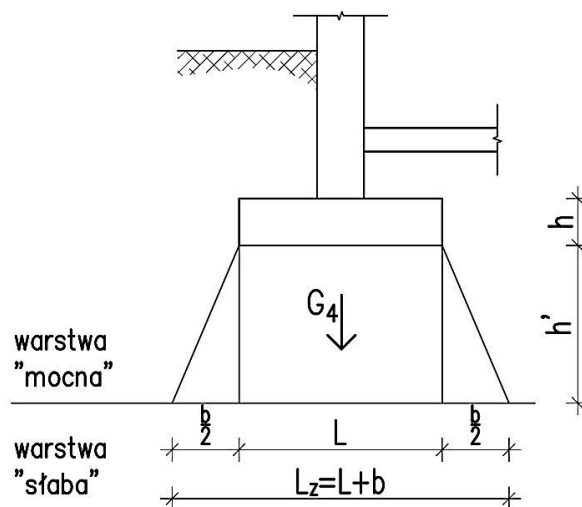
- φ – kąt tarcia gruntu
- c) Wyznaczenie nośności obliczeniowej na przesuw.
 R_{dh} – wyznaczyć ze wzoru 6.3b z normy PN-EN 1997-1
- d) Sprawdzenie warunku

$$H_{d2} \leq R_{dh}$$

9. Obliczenie nośności fundamentu na warstwie słabszej zalegającej poniżej warstwy nośnej (w warunkach „z odpływem”)

Należy sprawdzić czy do głębokości $2B$ poniżej poziomu posadowienia zalega grunt słabszy. Jeśli tak, wykonać obliczenia dla fundamentu zastępczego zgodnie z procedurą z normy PN- 81/B-03020 zał. 1 pkt.2.

Obliczenia wykonuje się analogicznie jak dla właściwego fundamentu, przyjmując jako fundament zastępczy stopę wraz z blokiem gruntu zalegającym poniżej fundamentu do stropu warstwy słabszej.



Uwagi:

wartość b należy wyznaczyć zgodnie z normą PN-81/B-03020 zał. 1.2.

wartość h' w normie jest określona jako h

- a) Określić wymiary fundamentu zastępczego ($B_z = B + b$; $L_z = L + b$ – na podstawie normy)
- b) Obciążenie pionowe zwiększy się o ciężar bloku gruntu dodanego do ciężaru stopy.
 $V'_d = V_d + \gamma_{Gn} L_z B_z h' \gamma$
 γ – ciężar objętościowy bloku gruntu
- c) Moment działający w podstawie fundamentu zastępczego zwiększy się o wartość siły poziomej działającej na ramieniu równym zagłębieniu warstwy słabszej, mierzonej od poziomu posadowienia rzeczywistego fundamentu.
 $M'_{pQ} = M_{pQ} + H_d * h'$
Wystarczające jest wyznaczenie mimośrodów od obciążeń stałych i zmiennych ($e_{LQ} = \frac{M'_{pQ}}{V'_d}$).
- d) Naprężenia od nakładu „ q ” określić w poziomie podstawy fundamentu zastępczego.
 $q' = (D_{\min} + h') * \gamma$
 h' – odległość od rzeczywistego poziomu posadowienia do stropu warstwy słabszej
 γ – średni ciężar objętościowy gruntu powyżej poziomu posadowienia fundamentu zastępczego.
Do obliczenia nośności podłoża q_{Rkz} przyjmuje się parametry gruntu słabszego.
- e) Wykorzystanie nośności podłoża (warunek ekonomiczny nie obowiązuje):

$$q_{Edz} < q_{Rdz}$$

III. Sprawdzenie stanu granicznego nośności STR

1. Obliczenie zbrojenia stopy

- Wyznaczenie momentów zginających
- Obliczenie zbrojenia głównego
- Obliczenie zbrojenia poprzecznego

Metoda obliczeń została przedstawiona w pliku „zbrojenieEN.pdf”

Pole przekroju zbrojenia w zależności od średnicy i ilości prętów zestawione są w pliku „zbrojenie_pole.pdf”

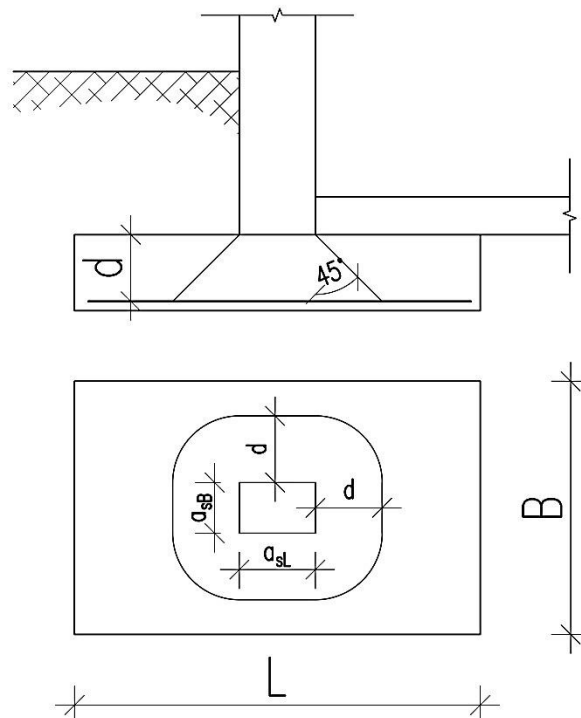
Wytyczne do zbrojenia fundamentu znajdują się w pliku „zbrojenie_zasady.pdf”

2. Sprawdzenie stopy na przebicie

Sprawdzenie wykonać zgodnie z procedurą opisaną w normie PN – EN 1992-1:

Projektowanie konstrukcji z betonu. Reguły ogólne i reguły dla budynków. Rozdział 6.4 (w szczególności podpunkt 6.4.4.)

Należy sprawdzić nośność na obwodach kontrolnym w zakresie od lica słupa do odległości $2d$. W projekcie przyjąć, że obwód kontrolny leży w odległości d , od obwodu słupa. (d – wysokość użyteczna przekroju stopy).



Pionowa siła przebijająca pomniejszona o ciężar własny fundamentu:

$$V_{Ed} = V_d - \gamma_{Gn} * G_1$$

Średnie naprężenia powstające w gruncie od siły V_{Ed} : $q = \frac{V_{Ed}}{B * L}$

Pole powierzchni ograniczonej obwodem kontrolnym: $F = \dots$

Długość obwodu kontrolnego: $u = \dots$

Reakcja gruntu na fundament w obwodzie kontrolnym: $\Delta V_{Ed} = F * q$

Siła przebijająca: $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$

Należy wyznaczyć średnie naprężenia styczne w przekroju kontrolnym v_{ED} stosując wzór 6.51 (PN – EN 1992-1). Następnie obliczyć naprężenia graniczne v_{Rd} ze wzoru 6.50 oraz wartość v_{min} (określoną wzorem 6.3N), jako wartość ostateczną v_{Rd} przyjmując większą z obliczonych wartości.

Wykorzystanie nośności $N = \frac{v_{ED}}{v_{Rd}}$ powinno mieścić się w granicach (0,5÷0,9).

IV. Obliczenie stanu granicznego użyteczności

1. Obliczenia osiadania fundamentu

Obliczenia przeprowadzamy na wartościach charakterystycznych. Do wyznaczenia osiadania niezbędne są obliczenia naprężeń w gruncie.

Metoda obliczeń została przedstawiona w pliku „osiadanie.pdf”

2. Wykres naprężeń w podłożu gruntowym

Przykładowy wykres naprężeń znajduje się w pliku „naprężenia_wykres.pdf”

V. Rysunek konstrukcyjny stopy

Przykładowy rysunek znajduje się w pliku „stopa_rysunek.pdf”

B. ŁAWA FUNDAMENTOWA

Obliczenia w podpunktach analogicznie jak dla stopy.

Obliczenia należy przeprowadzić na 1mb ławy.

C. STAN GRANICZNY UŻYTEKOWAŁNOŚCI GRUPY FUNDAMENTÓW

1. Osiadanie średnie budowli
2. Przechylenie budowli
3. Strzałka ugięcia budowli

D. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI SKARPY WYKOPU

Obliczenia przeprowadzamy według podejścia projektowego DA3: A2+M2+R3
Ponieważ przy sprawdzaniu stateczności skarpy mamy do czynienia z oddziaływaniami geotechnicznymi w obliczeniach stosujemy współczynniki z grupy A2.

1. Określenie współczynników częściowych

Na podstawie PN-EN 1997-1 zał. A.3, A.4 i A.5, wyznaczyć te same współczynniki jak w przypadku stopy fundamentowej, dla podejścia DA3.

2. Określenie wartości obliczeniowych parametrów geotechnicznych poszczególnych warstw

Analogicznie jak w przypadku stopy.

3. Sprawdzenie stateczności skarpy wykopu metodą Felleniusa

Tok postępowania przy sprawdzaniu stateczności skarpy metodą Felleniusa przedstawiony został w pliku „skarpa.pdf”