

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

### I. Dane do projektowania

- *Obciążenia stałe charakterystyczne:*

$$V_k = \quad (\text{pionowe})$$

$$H_k = \quad (\text{poziome})$$

$$M_k = \quad (\text{moment})$$

- *Obciążenia zmienne charakterystyczne:*

$$Q_{1k} = \quad (\text{pionowe})$$

$$Q_{2k} = \quad (\text{poziome})$$

$$Q_{3k} = \quad (\text{moment})$$

- *Wymiary słupa:*

$$a_{sL} =$$

$$a_{sB} =$$

- *Lokalizacja: ...*

- *Poziom posadzki względem terenu:*

$$d_p =$$

- *Grubość posadzki:*

$$h_p =$$

#### 1. Tabela właściwości gruntów.

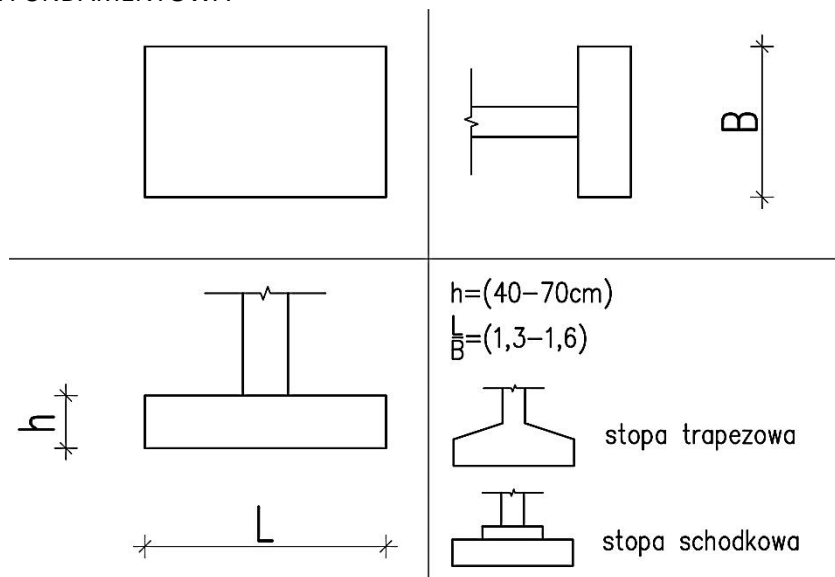
*Określić parametry gruntów według tabeli w pliku „tabela.pdf”*

#### 2. Przyjęcie geometrii fundamentu.

*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.*

##### a) STOPA FUNDAMENTOWA



##### b) ŁAWA FUNDAMENTOWA

3. Określenie poziomu posadowienia.

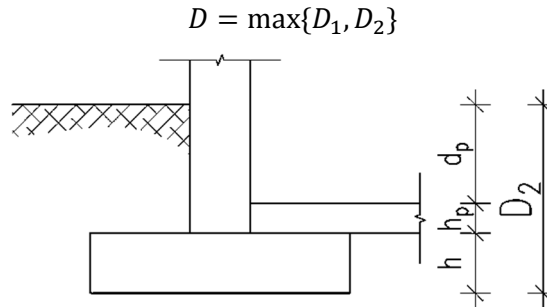
- a) STOPA FUNDAMENTOWA
- b) ŁAWA FUNDAMENTOWA

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 (grubość posadzki i jej poziom względem terenu).

Jako poziom posadowienia należy przyjąć wartość większą z wyznaczonych.

4. Obliczenie ciężaru fundamentu wraz z zasypem.

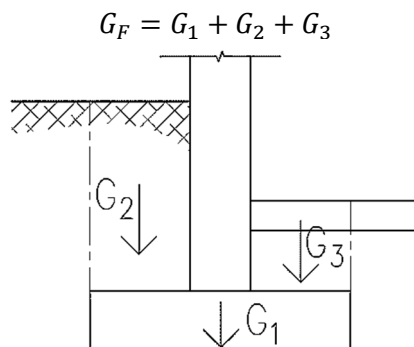
- a) STOPA FUNDAMENTOWA
- b) ŁAWA FUNDAMENTOWA (liczymy ciężar 1mb ławy)

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

$\gamma_{Gn}$  - wsp. częściowy do obciążeń stałych niekorzystnych

$\gamma_{Gk}$  - wsp. częściowy do obciążeń stałych korzystnych

$\gamma_{Qn}$  - wsp. częściowy do obciążeń zmiennych niekorzystnych

$\gamma_{Qk}$  - wsp. częściowy do obciążeń zmiennych korzystnych

M

$\gamma_\varphi$  - wsp. częściowy do tangensa kąta tarcia wewnętrznego

$\gamma_c$  - wsp. częściowy do spójności efektywnej

$\gamma_v$  - wsp. częściowy do ciężaru objętościowego

R

$\gamma_{Rv}$  - wsp. częściowy do nośności podłoża

$\gamma_{Rh}$  - 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.*

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

$$c_d = \frac{c_k}{\gamma_c} - \text{wartość obliczeniowa spójności gruntu}$$

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

3. Wyznaczenie mimośrodów działania sił

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

- a) Od obciążeń stałych  $e_{LG}$

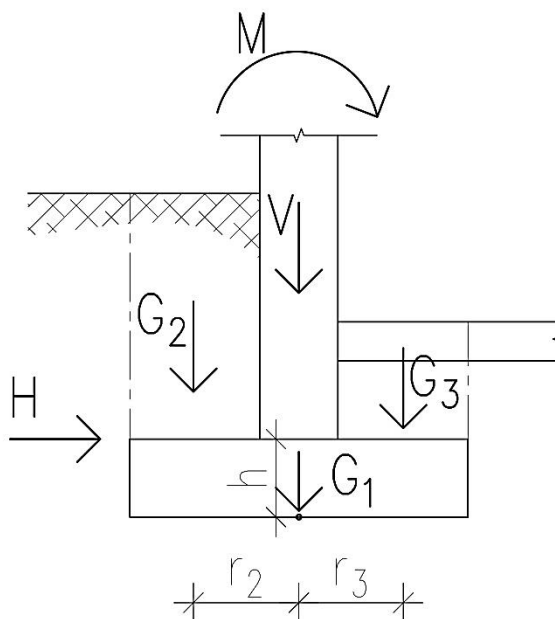
$$M_{pG} = M_k + H_k * h + G_3 * r_3 - G_2 * r_2$$

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

- 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

$$e_{LG} \leq \frac{L}{6}$$

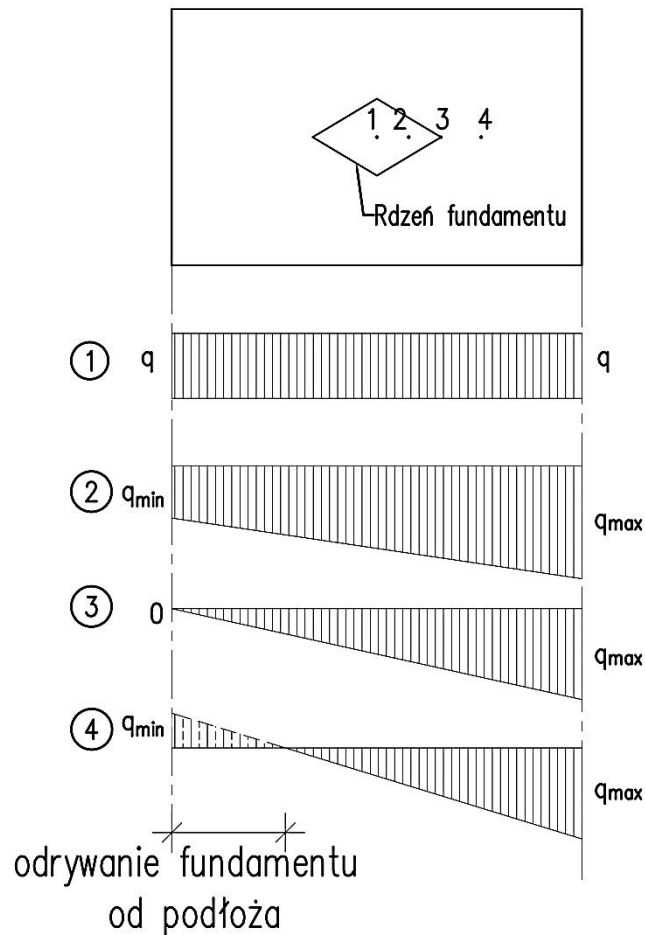
Wypadkowa siła powinna znajdować się w rdzeniu podstawy. Rozkład naprężeń przekazywanych na grunt dla poszczególnych przypadków mimośrodu przedstawiono na rysunku.

b) Od obciążeń stałych i zmiennych

$$e_{LQ} \leq \frac{L}{3}$$

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

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



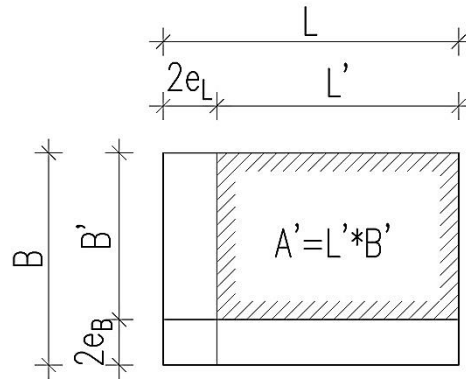
5. Wyznaczenie efektywnego pola podstawy fundamentu

$A' = L' * B'$  - 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.

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

Nośność charakterystyczna:

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

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

nośności -  $N_q, N_c, N_\gamma$

nachylenia podstawy fundamentu -  $b_q, b_c, b_\gamma$

kształtu fundamentu -  $s_q, s_c, s_\gamma$

nachylenia obciążenia -  $i_q, i_c, i_\gamma$

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

$$q' = D * \gamma$$

$\gamma$  – 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.

- c) Obliczenie nośności charakterystycznej podłoża.

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

- d) Obliczenie nośności obliczeniowej podłoża.

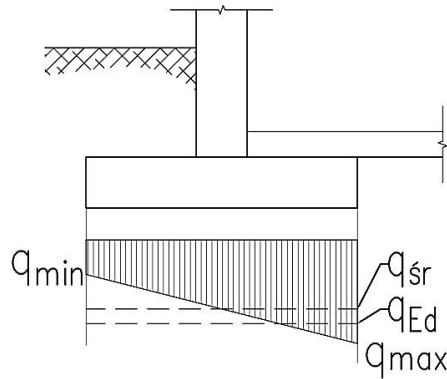
$$q_{Rd} = \frac{q_{Rk}}{\gamma_{Rv}}$$

e) Wyznaczenie rozkładu naprężeń przekazywanych na grunt

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

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

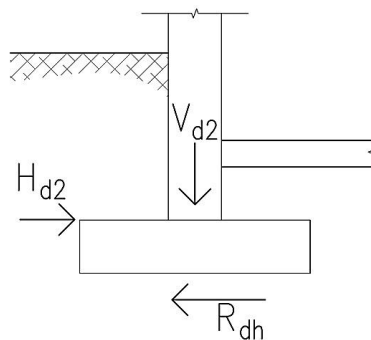
$$q_{max} = \frac{V_d}{B * L} * \left(1 + \frac{6e_{LQ}}{L}\right)$$



f) Stopień wykorzystania nośności podłoża:

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

7. 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 zakładamy, 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)

$\varphi$  – kąt tarcia gruntu

c) Wyznaczenie nośności obliczeniowej na przesuw.

$R_{dh}$  – wyznaczyć ze wzoru 6.3b z normy PN-EN 1997-1

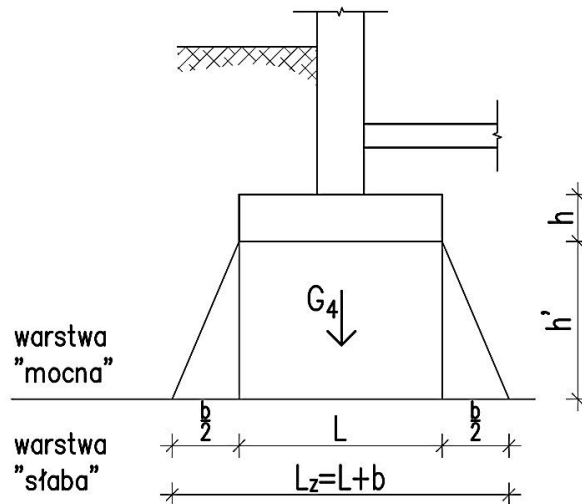
d) Sprawdzenie warunku

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

8. Obliczenie nośności fundamentu w warstwie słabszej zalegającej poniżej warstwy nośnej.

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  $h$

- Określić wymiary fundamentu zastępczego ( $B_z = B + b$ ;  $L_z = L + b$  – na podstawie normy)
- Obciążenie pionowe zwiększy się o ciężar bloku gruntu dodanego do ciężaru stopy.  
 $V'_d = V_d + \gamma_{Gn} L_z B_z h' \gamma$   
 $\gamma$  – ciężar objętościowy bloku gruntu
- 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  
 $(e_{LQ} = \frac{M'_{pQ}}{V'_d})$ .
- 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  
 $\gamma$  – średni ciężar objętościowy gruntu powyżej poziomu posadowienia fundamentu zastępczego.  
 Do obliczenia nośności podłoża  $q'_{RK}$  przyjmuje się parametry gruntu słabszego.

### III. Sprawdzenie stanu granicznego nośności STR

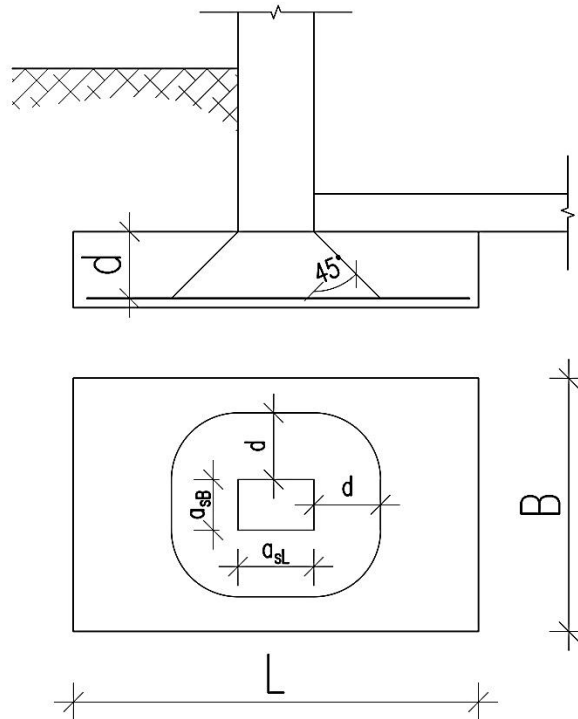
#### 1. Obliczenie zbrojenia stopy.

- 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.

Maksymalne 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 UŻYTKOWALNOŚCI 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”*