

## ZADANIE PROJEKTOWE NR 1

### Projekt posadowienia na stopach fundamentowych

**Fundamentowanie** – nauka zajmująca się projektowaniem i wykonawstwem fundamentów oraz robót fundamentowych w różnych warunkach gruntowo-wodnych.

**Fundament** - jest to najniższa część budowli, bezpośrednio stykająca się z podłożem gruntowym i przenosząca nań w sposób bezpieczny ciężar własny budowli i wszelkie jej obciążenia.

Wg PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów:

**grunt budowlany** – część skorupy ziemskiej mogąca współdziałać z obiektem budowlanym, stanowiąca jego element lub służąca jako tworzywo do wykonywania z niego budowli ziemnych.

**podłoże gruntowe** – grunt rodzimy, antropogeniczny lub skała, istniejące na miejscu budowy przed wykonaniem prac budowlanych w strefie, której właściwości mają wpływ na projektowanie, wykonanie i eksploatację budowli.

#### Podstawowe rodzaje fundamentów:

- A. bezpośrednie (płytkie) – obciążenie od budowli przenosi się na podłoże bezpośrednio przez podstawę fundamentu; nie uwzględnia się współpracy gruntu obok fundamentu;
- B. pośrednie (głębokie) – obciążenie od budowli przenosi się na podłoże za pośrednictwem dodatkowych elementów konstrukcyjnych, na których opiera się podstawa fundamentu; uwzględnia się siły oporu gruntu, działające zarówno na podstawy tych elementów, jak i na ich pobocznice, np. na palach, studniach, kesonach, ścianach szczelinowych, szczelnych.

W projektowaniu fundamentów bezpośrednich stosujemy normę:

**PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne** wraz z poprawką wydaną we wrześniu 2010 r. PN-EN 1997-1:2008/Ap2:2010, która wprowadza Załącznik krajowy zawierający informacje dotyczące postanowień, które w EN 1997-1:2004 oraz EN 1997-1:2004/AC:2009 pozostawiono do ustalenia krajowego.

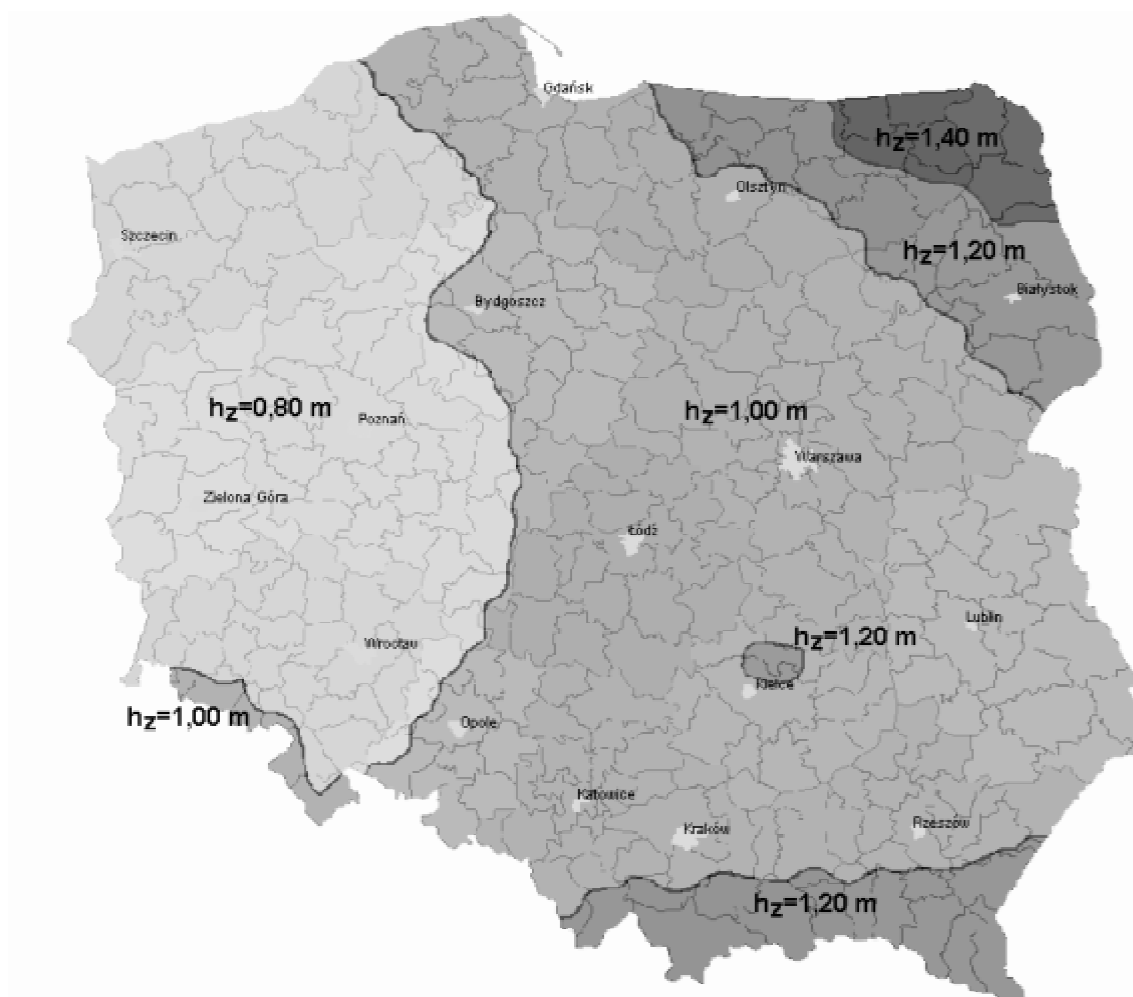
Fundamenty bezpośrednie (shallow foundations) mogą być na podłożu naturalnym, sztucznym (wymiana gruntu), lub podłożu wzmocnionym, np. przez zagęszczenie, zastrzyki iniekcyjne, zbrojenie itp.

Za fundament płytki uważa się taki, którego głębokość posadowienia jest mniejsza od jego szerokości.

**głębokość posadowienia** – jest to głębokość położenia podstawy fundamentu od powierzchni terenu

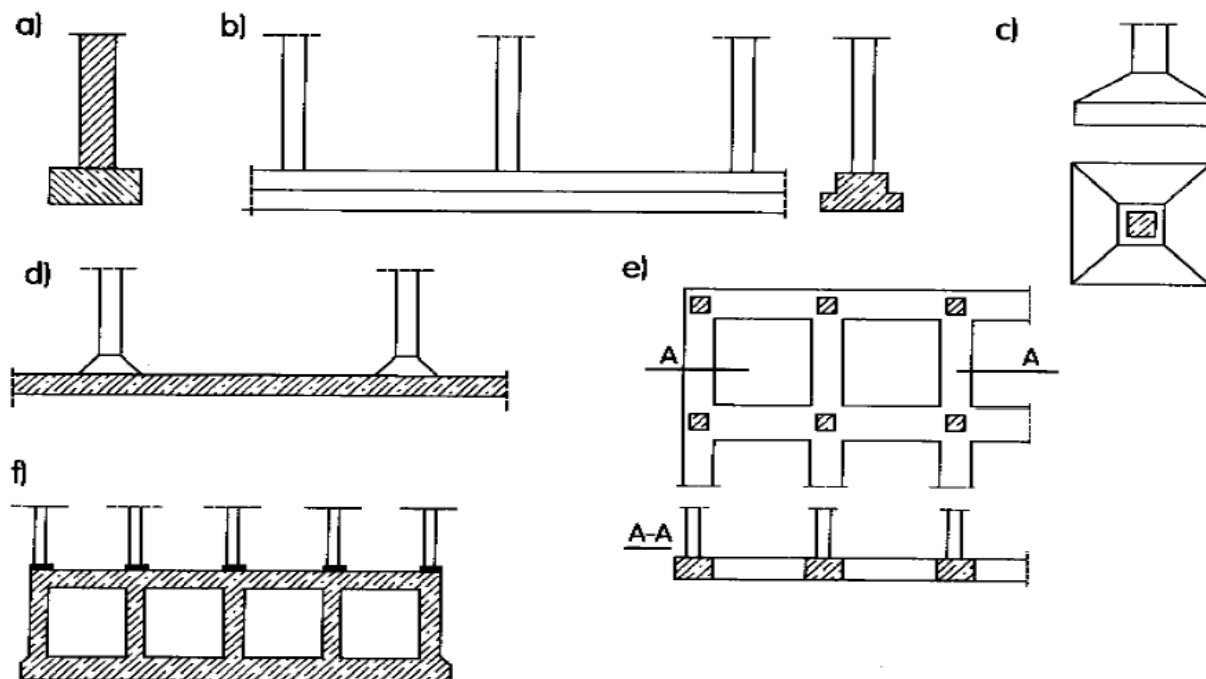
Zależy od:

- głębokości występowania gruntów nośnych, na których budowla może być bezpiecznie posadowiona; minimalną głębokość posadowienia przyjmuje się 0,5 m w stosunku do przyległego terenu;
- głębokości przemarzania w gruntach wysadzinowych; w Polsce minimalne głębokości posadowienia ze względu na przemarzanie wynoszą 0,8 – 1,2 m do spodu fundamentu;
- głębokości rozmycia gruntu, np. przy fundamentach podpór mostowych;
- poziomu zwierciadła wody gruntowej;
- wymagań eksploatacyjnych budowli, np. konieczność podpiwniczenia, występowanie garaży podziemnych;
- poziomu posadowienia sąsiednich obiektów.

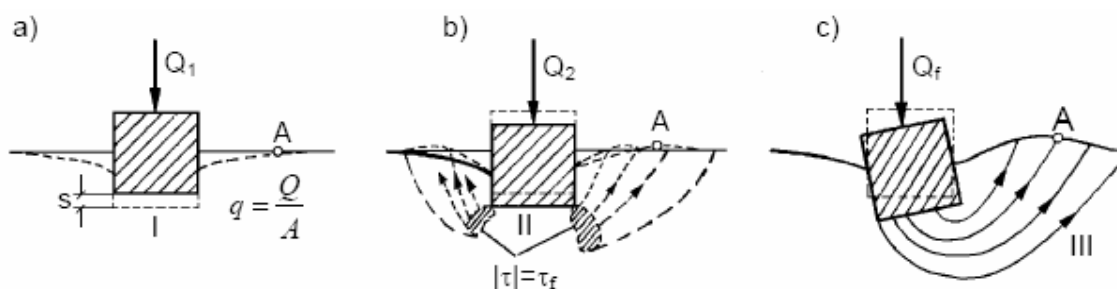


Rys. 1 Orientacyjna mapa stref przemarzania gruntu wg PN-81/B-03020

Fundamenty bezpośrednie występują jako: stopy, ławy, ruszty, płyty, skrzynie, i bloki fundamentowe.



**Opór graniczny podłoża** - rozpatrzmy fundament stopniowo obciążany siłą  $Q$ ,  $q = Q/LB$ .



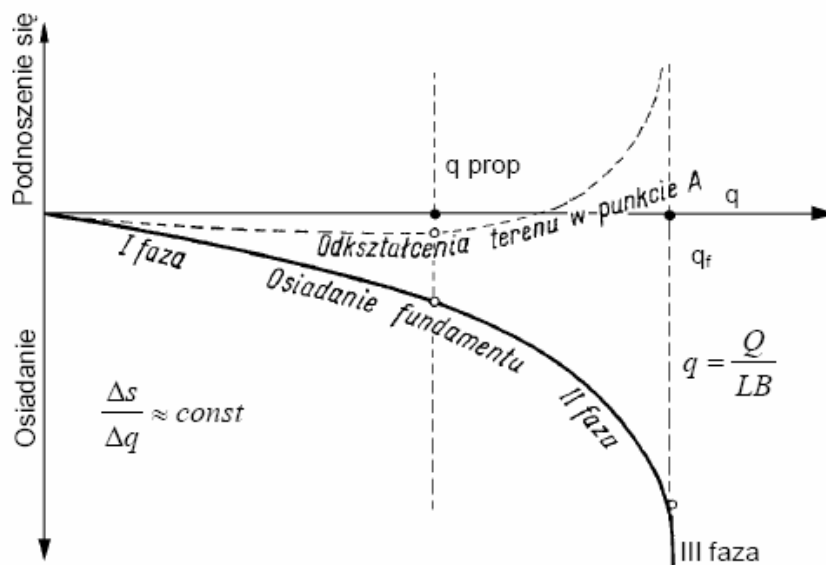
Rys. 2. Zachowanie gruntu pod fundamentem wskutek wzrostu obciążenia.

W I Fazie przyrost osiadania fundamentu jest wprost proporcjonalny do przyrostu obciążenia gruntu ( $q \leq q_{kr}$ ). W tej fazie fundament osiada tylko wskutek ściśliwości gruntu. Uplastycznienie, czyli stan graniczny w gruncie ( $\tau = \tau_f$ ) powstaje tylko pod krawędziami fundamentu, zajmuje mały obszar - poza obrysem fundamentu, więc nie ma wpływu na osiadania.

W fazie II obserwuje się zwiększenie przyrostu osiadania fundamentu, strefy uplastycznienia zachodzą częściowo pod fundament – osiadanie wskutek ściśliwości gruntu i wskutek wypierania gruntu spod fundamentu.

Po przekroczeniu obciążenia granicznego  $q_f$  fundament zagłębia się bez zwiększenia obciążenia. Strefy uplastycznienia gruntu zachodzą całkowicie pod fundament, podłoże gruntowe jest w

równowadze granicznej. Przy niewielkim wzroście obciążenia następuje wypieranie gruntu spod fundamentu wzdłuż powierzchni poślizgu- podłoże traci całkowicie wytrzymałość.



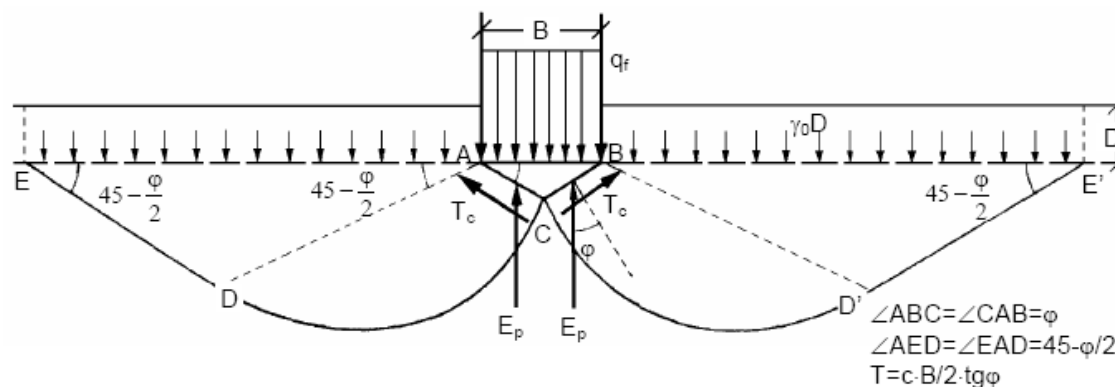
Rys. 3. Osiadanie fundamentu i odkształcenie podłoża w miarę wzrostu odkształceń.

Projektując posadowienia nie możemy więc dopuścić do wypierania gruntu spod fundamentu oraz przekroczenia osiadań dopuszczalnych dla projektowanej konstrukcji.

Nośnością gruntu nazywa się obciążenie, przy którym nie występuje wypieranie gruntu spod fundamentu, a osiadanie nie wywołuje w konstrukcji dodatkowych sił wewnętrznych.

## Fundament zawsze osiada!

Nośność gruntu zależy od jego rodzaju, układu warstw, stanu (stopnia zagęszczenia/plastyczności), od wymiarów, kształtu i głębokości posadowienia.



Rys. 4. Schemat powierzchni poślizgu do obliczania wypierania gruntu pod fundamentem.

### Przykład obliczeniowy:

W oparciu o załączone wyniki badań laboratoryjnych zaprojektować posadowienie na stopach fundamentowych słupów hali dla zadanych obciążeń.

#### Dane do projektu:

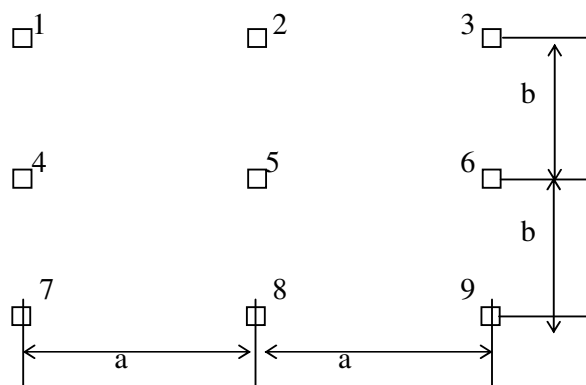
- lokalizacja: Ostrowiec Świętokrzyski →  $h_z = 1.0$  [m]
- rozstaw osi słupów:  $l_x = 6$  [m],  $l_y = 9$  [m]
- wartości charakterystyczne obciążenia stóp:

| Obciążenie | Pionowe [kN]   | Poziome [kN]   | Moment [kNm]   |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| stałe      | $V_{Gk} = 783$ | $H_{GkB} = 76$ | $M_{GkB} = 6$  |
| zmiennie   | $V_{Qk} = 90$  | $H_{QkB} = 42$ | $M_{QkB} = 41$ |

- obliczenia dla stopy nr 5
- przyjąć wartości osiadań fundamentów  $s_i = s_5 \times k_i$ ;  $i = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9$   
 $k_i = 0.9, 0.8, 0.65, 0.95, 0.7, 0.85, 0.9, 0.85$  ( $k_5 = 1$ )

Projekt powinien zawierać:

1. Przekrój geotechniczny z naniesionym poziomem posadowienia;
2. Zwymiarowanie podstawy stóp wg I stanu granicznego GEO;
3. Sprawdzenie warunków II stanu granicznego użyteczności.



#### Profil geotechniczny dla stopy Nr 5:

| Przelot [m] | Rodzaj gruntu | $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\varphi'_k$ [°] | $c'_k$ [kPa] | $c_{uk}$ [kPa] | $M_0$ [MPa] |
|-------------|---------------|---------------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|
| 0.0 – 2.7   | siCl          | 20.2                            | 15.9             | 21.7         | 76.1           | 22          |
| 2.7 – 10.0  | MSa           | 17.5                            | 35.4             | 0            | –              | 105         |

## 1. Opis techniczny

## 2. Parametry geotechniczne

Charakterystyczne wartości parametrów geotechnicznych zostały wyznaczone w bezpośrednich badaniach przeprowadzonych przez firmę GEOLAB na zlecenie Inwestora.

### 2.1. Charakterystyczne wartości parametrów warstwy geotechnicznej I (siCl)

Tablica 3. Wartości parametrów zależnych od rodzaju gruntu

| Typ gruntu | Grunty niespoiste |            |              | Grunty spoiste |      |      |       |
|------------|-------------------|------------|--------------|----------------|------|------|-------|
|            | $\zeta, P_0$      | $P_r, P_s$ | $P_d, P_\pi$ | A              | B    | C    | D     |
| $\nu$      | 0,20              | 0,25       | 0,30         | 0,25           | 0,29 | 0,32 | 0,37  |
| $\delta$   | 0,90              | 0,83       | 0,74         | 0,83           | 0,76 | 0,70 | 0,565 |
| $\beta$    | 1,0               | 0,90       | 0,80         | 0,90           | 0,75 | 0,60 | 0,80  |

$\nu$  - współczynnik Poissona

$$\delta = \frac{E_0}{M_0} = \frac{E}{M} = \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

$\beta = \frac{E_0}{E} = \frac{M_0}{M}$  - wskaźnik skonsolidowania gruntu

- parametry wytrzymałościowe:

efektywny kąt tarcia wewnętrznego  $\varphi'_k = 15.9^\circ$

efektywna spójność  $c'_k = 21.7$  kPa

wytrzymałość przy szybkim ścinaniu bez odpływu  $c_{uk} = 76.1$  kPa

- parametry odkształceniowe

edometryczny moduł ścisłości pierwotnej  $M_0 = 22$  MPa

$\beta = 0,8 \rightarrow$  edometryczny moduł ścisłości wtórnej  $M = M_0/\beta = 22/0,8 = 27,5$  MPa

- cechy fizyczne

ciężar objętościowy  $\gamma_k = 20.2$  kN/m<sup>3</sup>

### 2.2. Charakterystyczne wartości parametrów warstwy geotechnicznej II (MSa)

- parametry wytrzymałościowe

efektywny kąt tarcia wewnętrznego  $\varphi'_k = 35.4^\circ$

efektywna spójność  $c'_k = 0.0$  kPa

wytrzymałość przy szybkim ścinaniu bez odpływu  $c_{uk} = -$  kPa

- parametry odkształceniowe

edometryczny moduł ścisłości pierwotnej  $M_0 = 105 \text{ MPa}$

$\beta=0,9 \rightarrow$  edometryczny moduł ścisłości wtórnej  $M=M_0/\beta = 105/0,9 = 116,7 \text{ MPa}$

- cechy fizyczne

ciężar objętościowy  $\gamma_k = 17.5 \text{ kN/m}^3$

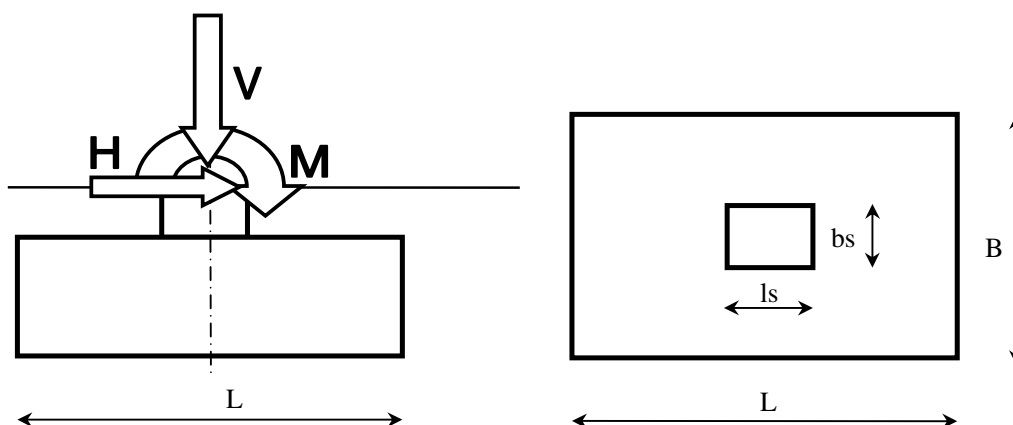
### 3. Wymiarowanie fundamentu na podstawie warunków I SGN (ULS)

#### 3.1. Zestawienie obciążeń

| Obciążenie | Pionowe [kN]   | Poziome [kN]  | Moment [kNm]  |
|------------|----------------|---------------|---------------|
| stałe      | $V_{Gk} = 783$ | $H_{Gk} = 76$ | $M_{Gk} = 6$  |
| zmiennie   | $V_{Qk} = 90$  | $H_{Qk} = 42$ | $M_{Qk} = 41$ |

#### 3.2. Przyjęcie wymiarów stopy

Przyjęto fundament żelbetowy o wymiarach w rzucie:  $B \times L = 2,0 \times 3,0$  [m]



Wymiary słupa  $b_s = 0.4\text{m}$ ,  $l_s = 0.6\text{m}$ .

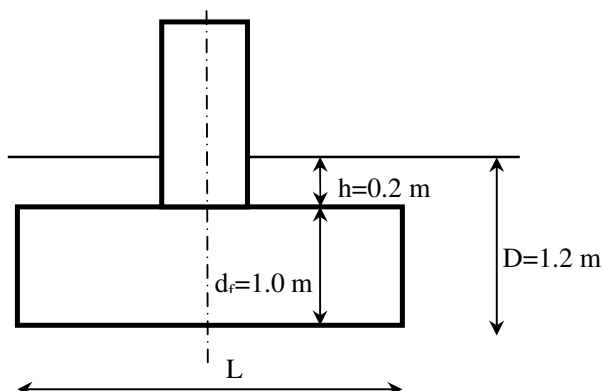
Wysokość fundamentu:  $d_f \sim 0.9 \times s$

$$s_b = \frac{B - b_s + 2e_{sb}}{2} = \frac{2.0 - 0.4 + 0}{2} = 0.8\text{m}$$

$$s_l = \frac{L - l_s + 2e_{sl}}{2} = \frac{3.0 - 0.6 + 0}{2} = 1.2\text{m}$$

$$d_f \sim (0.3 \div 0.5) \times (L - l_s) = (0.3 \div 0.5) \times (3.0 - 0.6) = 0.72 \div 1.2 \text{ m}$$

Przyjęto  $d_f = 1.0 \text{ m}$





Głębokość posadowienia  $D \geq h_z (=1.0) \rightarrow D = 1,2 \text{ m}$

### 3.3. Obciążenia dodatkowe

Wysokość warstwy gruntu na odsadzkach:

$$h = D - d_f = 1.20 - 1.00 = 0.20 \text{ m}$$

Ciężar gruntu na odsadzkach

Przyjęto grunt zasypowy, piasek średni (MSa),  $\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$

$$V_{Gk1} = (B \times L - b_s \times l_s) \times h \times \gamma = (2.0 \times 3.0 - 0.4 \times 0.6) \times 0.2 \times 17.0 = 19.58 \text{ kN}$$

Ciężar stopy fundamentowej (przyjęto ciężar objętościowy żelbetu z betonu na kruszywie kamiennym, zagęszczony i zbrojony wg Tab. Z1.6. pkt.13. PN-82/B-2001,  $\gamma_{fk}=25 \text{ kN/m}^3$ ):

$$V_{Gk2} = B \times L \times d_f \times \gamma_{fk} = 2.0 \times 3.0 \times 1.0 \times 25 = 150.00 \text{ kN}$$

Ciężar części podziemnej słupa:

$$V_{Gk3} = b_s \times l_s \times h_s \times \gamma_{fk} = 0.4 \times 0.6 \times 0.2 \times 25 = 1.20 \text{ kN}$$

Obliczenie sumy obciążeń pionowych przekazywanych na grunt:

$$V_k = V_{Gk} + V_{Qk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} = 783 + 90 + 19.58 + 150.0 + 1.2 = 1043.78 \text{ kN}$$

$$V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} = 783 + 19.58 + 150.0 + 1.2 = 953.78 \text{ kN}$$

### 3.4. Sprawdzenie warunków stanu GEO w podejściu obliczeniowym DA2\*

#### 3.4.1. Współczynniki częściowe w podejściu obliczeniowym DA2

Zgodnie z zaleceniami poprawki do normy PN-EN 1997-1:2008/Ap2 pkt NA.2.6. (Załącznik Krajowy - NA) przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności podłoża GEO przyjęto podejście obliczeniowe DA2, które wg PN-EN 1997-1 pkt 2.4.7.3.4.3 nakazuje stosować następującą kombinację współczynników częściowych:

$$A1+M1+R2$$

t.j. wg Załącznika normatywnego A PN-EN 1997-1, pkt A.3.: Tab.A.3., Tab.A.4 i Tab.A.5

$$A1: \begin{cases} \gamma_{G, \text{niekorzystne}} = 1.35 \\ \gamma_{G, \text{korzystne}} = 1.00 \\ \gamma_{Q, \text{niekorzystne}} = 1.50 \\ \gamma_{Q, \text{korzystne}} = 0.00 \\ \gamma_{A, \text{niekorzystne}} = 1.00 \\ \gamma_{A, \text{korzystne}} = 0.00 \end{cases} \quad M1: \begin{cases} \gamma_{M, \tan(\Phi')} = 1.00 \\ \gamma_{M, c'} = 1.00 \\ \gamma_{M, cu} = 1.00 \\ \gamma_{M, \gamma} = 1.00 \end{cases} \quad R2: \begin{cases} \gamma_{R, v} = 1.40 \\ \gamma_{R, h} = 1.10 \end{cases}$$

|                         |                                       |              | stany graniczne nośności – podejście 2 |                |                | stateczność ogólna – podejście 3 |                |                |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------|
|                         |                                       |              | A <sub>1</sub>                         | M <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | A <sub>2</sub>                   | M <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> |
| do oddziaływań          | stałe                                 | niekorzystne | 1,35                                   |                |                | 1,0                              |                |                |
|                         |                                       | korzystne    | 1,0                                    |                |                | 1,0                              |                |                |
|                         | zmiennie                              | niekorzystne | 1,5                                    |                |                | 1,3                              |                |                |
| do właściwości gruntu   | tan φ                                 |              |                                        | 1,0            |                |                                  | 1,25           |                |
|                         | efektywna spójność                    |              |                                        | 1,0            |                |                                  | 1,25           |                |
|                         | wytrzymałość bez odplywu              |              |                                        | 1,0            |                |                                  | 1,4            |                |
|                         | wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie |              |                                        | 1,0            |                |                                  | 1,4            |                |
|                         | ciężar objętościowy                   |              |                                        | 1,0            |                |                                  | 1,0            |                |
| fundamenty bezpośrednie | wyparcie                              |              |                                        |                | 1,4            |                                  |                |                |
|                         | poślizg                               |              |                                        |                | 1,1            |                                  |                |                |

Obliczeniowe wartości oddziaływań:  $E_d = E_{Gk} \times \gamma_G + E_{Qk} \times \gamma_Q + E_{Ak} \times \gamma_A$

**Warunek nośności:  $R_d \geq E_d$**

**gdzie:  $R_d = R / \gamma_R$**

W podejściu obliczeniowym 2 (DA2)  $\gamma_R = 1,4$ .

### 3.4.2. Mimośrodowość oddziaływań stałych

Zgodnie z zaleceniami poprawki do normy PN-EN 1997-1:2008/Ap2 pkt NA.2.6. wyznaczając opór graniczny podłoża należy stosować charakterystyczne wartości oddziaływań (podejście obliczeniowe DA2\*).

$$e_L = \frac{M_{Gk} + H_{Gk} \cdot D}{V_{Gk}} = \frac{6.00 + 76.00 \cdot 1.2}{953.78} = 0.102 < \frac{L}{6} = \frac{3.00}{6} = 0.50 \text{ m}$$

Wypadkowa siła oddziaływań stałych znajduje się w rdzeniu przekroju fundamentu – nie ma potrzeby przesuwania osi fundamentu względem osi słupa ( $e_{sb} = e_{sl} = 0\text{m}$ ).

Ekstremalne wartości ciśnień wywieranych przez fundament i obciążenia stałe na podłoże gruntowe, przy założeniu ich liniowego rozkładu (przyjęto, że wszystkie oddziaływania działają niekorzystnie na nośność podłoża pod fundamentem:

$$q_{Ed} = \frac{V_{Gd}}{B \times L} \pm \frac{6 \times M_{Gd}}{B \times L^2}$$

$$V_{Gd} = (V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3}) \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} = (783.00 + 19.58 + 150.00 + 1.20) \times 1.35 = 1287.60 \text{ kN}$$

$$M_{Gd} = (M_{Gk} + H_{GkL} \times D) \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} = (6.00 + 76.00 \times 1.20) \times 1.35 = 131.22 \text{ kN}$$

$$q_{Ed} = \frac{1287.60}{2.0 \times 3.0} \pm \frac{6 \times 131.22}{2.0 \times 3.0^2} = 214.6 \pm 43.74$$

$$q_{Ed \max} = 258.34 \text{ kPa} \quad q_{Ed \min} = 170.86 \text{ kPa}$$

$$\frac{q_{Ed \max}}{q_{Ed \min}} \leq A$$

Przyjęto  $A=3$  ze względu na wysokie wartości edometrycznych modułów ścisłości gruntu ( $M_0 > 20 \text{ MPa}$ ) oraz małą wrażliwość konstrukcji na nierównomierne odkształcenia podłoża.

$$\frac{258.34}{170.86} = 1.51 \leq A = 3$$

### 3.4.3. Mimośrodowość oddziaływań stałych i zmiennych

Wartość charakterystyczna całkowitego oddziaływania pionowego:

$$V_k = V_{Gk} + V_{Qk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} = 783 + 90 + 19.58 + 150.0 + 1.2 = 1043.78 \text{ kN}$$

$$e_B = 0 \text{ m}$$

$$e_L = \frac{M_{Gk} + M_{Qk} + (H_{Gk} + H_{Qk}) \cdot D - e_{sl} \cdot V_k}{V_k} =$$

$$= \frac{6.00 + 41.00 + (76.00 + 42.00) \cdot 1.2 - 0.00}{1043.78} = 0.181 \text{ m} < \frac{L}{4} = \frac{3.00}{4} = 0.75 \text{ m}$$

Wypadkowa siła oddziaływań stałych i zmiennych znajduje się w rdzeniu uogólnionym przekroju fundamentu.

#### 3.4.4. Efektywne wymiary fundamentu

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

$$L' = L - 2e_L = 3.00 - 2 \times 0.181 = 2.64 \text{ m}$$

$$\text{Efektywne pole fundamentu: } A' = B' \times L' = 5.277 \text{ m}^2$$

Proporcje wymiarów efektywnych:

$$\frac{L'}{B'} = \frac{2.64}{2.00} = 1.32 \quad \frac{B'}{L'} = \frac{2.00}{2.64} = 0.76$$

#### 3.4.5. Stan przejściowy w warunkach bez odpływu (GEO1 – wyparcie gruntu spod fundamentu)

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:

$$\frac{R_{k,V}}{A'} = (\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q$$

##### 3.4.5.1. Współczynnik kształtu podstawy fundamentu

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 + 0.2 \cdot 0.76 = 1.15$$

##### 3.4.5.2. Współczynnik nachylenia obciążenia

- warunek maksymalnego oddziaływania poziomego na podłoże:

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

$$H_k = H_{Gk} + H_{Qk} = 76 + 42 = 118 \text{ kN} < A' \times c_u = 5.277 \times 76.1 = 401.6 \text{ kN} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$i_c = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H_k}{A' c_u}} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{118}{401.6}} \right) = 0.92$$

3.4.5.3. Współczynnik nachylenia podstawy fundamentu

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

3.4.5.4. Naprężenie od nadkładu lub obciążenia w poziomie podstawy fundamentu

$$q = D \cdot \gamma = 1.2 \times 20.2 = 24.24 \text{ kPa}$$

3.4.5.5. Charakterystyczny opór podłoża na wyparcie w warunkach „bez odpływu”

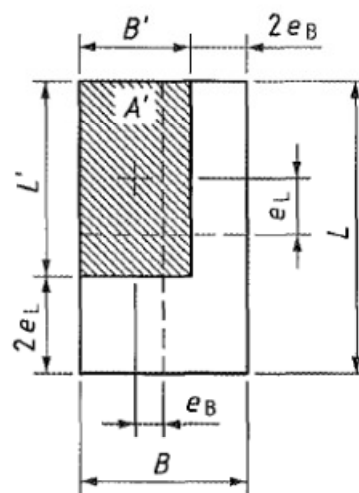
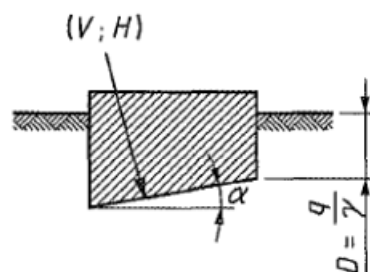
$$R_{k,V} = A' \cdot [(\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q] =$$

$$= 5.277 \cdot [(\pi + 2) \cdot 76.1 \cdot 1.15 \cdot 0.92 \cdot 1.0 + 24.24]$$

$$R_{k,V} = 2327.4 \text{ kN}$$

3.4.5.6. Obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „bez odpływu”

$$R_{d,V} = \frac{R_{k,V}}{\gamma_{R,V}} = \frac{2327.4}{1.4} = 1662.4 \text{ kN}$$



Rysunek D.1 — Oznaczenia

3.4.5.7. Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie pionowe

$$V_d = (V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3}) \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} + V_{Qk} \times \gamma_{Q, \text{niekorzystne}} =$$

$$= (783.00 + 19.58 + 150.00 + 1.20) \times 1.35 + 90.00 \times 1.50 = 1422.61 \text{ kN}$$

3.4.5.8. Warunek nośności podłoża w warunkach „bez odpływu”

$$R_{d,V} \geq V_d$$

$$R_{d,V} = 1662.4 \text{ kN} \geq V_d = 1422.6 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

- wykorzystanie nośności podłoża:

$$\frac{V_d}{R_{d,V}} \cdot 100\% = \frac{1422.6}{1662.4} \cdot 100\% = 85.58 \%$$

➔ zapas bezpieczeństwa nie przekracza 20%.



### 3.4.6. Stan przejściowy w warunkach bez odpływu (GEO2 – poślizg fundamentu).

Formuła na jednostkowy opór graniczny wg PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3.:

$$R_{k,h} = A_c \times c_u$$

#### 3.4.6.1. Pole nacisku fundamentu na podłoże

Ponieważ mimośrodowo:

$$e_B = 0 \text{ m}$$

$$e_L = 0.16 \text{ m} < L/6 = 3/6 = 0.5 \text{ m}$$

wskazują na położenie wypadkowej siły wszystkich oddziaływań w rdzeniu przekroju, cała podstawa fundamentu jest dociskana do podłoża (naprężenia mają jednakowy znak), zatem pole docisku fundamentu do podłoża:

$$A_c = B \times L = 2 \times 3 = 6 \text{ m}^2$$

#### 3.4.6.2. Charakterystyczny opór podłoża na poślizg w warunkach „bez odpływu”

$$R_{k,h} = A_c \times c_u = 6 \times 76.1 = 456.6 \text{ kN}$$

#### 3.4.6.3. Obliczeniowy opór podłoża na poślizg w warunkach „bez odpływu”

$$R_{d,h} = \frac{R_{k,h}}{\gamma_{R,h}} = \frac{456.60}{1.1} = 415.10 \text{ kN}$$

#### 3.4.6.4. Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie poziome

$$H_d = H_{Gk} \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} + H_{Qk} \times \gamma_{Q, \text{niekorzystne}} = 76.00 \times 1.35 + 42.00 \times 1.50 = 165.6 \text{ kN}$$

#### 3.4.6.5. Warunek nośności podłoża na poślizg w warunkach „bez odpływu”

$$R_{d,h} \geq H_d$$

$$R_{d,h} = 415.10 \text{ kN} \geq H_d = 165.6 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

Zgodnie z PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3., jeśli fundament posadowiony jest na gruncie spoistym, niezdrutowanym i pomiędzy powierzchnią podstawy fundamentu i to podłoże może dostać się woda i/lub powietrze, to powinien być spełniony dodatkowy warunek:

$$H_d \leq 0.4 \times V_d$$

$$H_d = 165.6 \text{ kN} \leq 0.4 \times V_d = 0.4 \times 1422.61 \text{ kN} = 570.78 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

### 3.4.7. Stan trwały w warunkach z odpływem (GEO1 – wyparcie gruntu spod fundamentu)

Zgodnie z PN-EN 1997-1, Załącznik informacyjny D, pkt D.4 zastosowano następującą formułę do obliczenia jednostkowego oporu granicznego na wyparcie gruntu:

$$\frac{R_{k,v}}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma$$

#### 3.4.7.1. Współczynniki nośności

$$N_q = e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi'} \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi'}{2} \right) = e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(15.9)} \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{15.9}{2} \right) = 4.29$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi') = (4.29 - 1) \cdot \operatorname{ctg}(15.9) = 11.56$$

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

$$N_\gamma = 2 \cdot (4.29 - 1) \cdot \operatorname{tg}(15.9) = 1.88$$

#### 3.4.7.2. Współczynniki kształtu podstawy fundamentu

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi' = 1 + 0.76 \cdot \sin(15.9) = 1.21$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1.21 \cdot 4.29 - 1}{4.29 - 1} = 1.27$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 - 0.3 \cdot 0.76 = 0.77$$

#### 3.4.7.3. Współczynniki nachylenia obciążenia

- warunek maksymalnego oddziaływania poziomego na podłoże:

$$H_k \leq V_k + A' \cdot c' \cdot \operatorname{ctg}(\varphi')$$

$H_k$  wg pkt. 3.4.5.2,  $V_k$  wg pkt. 3.4.3.:

$$H_k = H_{Gk} + H_{Qk} = 76 + 42 = 118 \text{ kN}$$

$$V_k = V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} + V_{Qk} = 1043.78 \text{ kN}$$

$$H_k = 118 \text{ kN} < V_k + A' \cdot c' \cdot \operatorname{ctg}(\varphi') = 1043.78 + 5.28 \times 21.7 \times \operatorname{ctg}(15.9) = 1445.8 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \operatorname{ctg} \varphi'} \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \operatorname{ctg} \varphi'} \right]^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi'}$$



gdzie:

$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] -$  gdy siła pozioma działa na kierunku B

$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] -$  gdy siła pozioma działa na kierunku L

Rozpatrujemy oddziaływania poziome w płaszczyźnie  $d \times L$ , przyjmujemy proporcje  $L' / B'$  wg pkt.

3.4.4.) i wykładnik  $m = m_L$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} = \frac{2 + 1.32}{1 + 1.32} = 1.43$$

$$i_q = \left(1 - \frac{118}{1445.8}\right)^{1.43} = 0.885$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{118}{1445.8}\right)^{1.43+1} = 0.813$$

$$i_c = 0.885 - \frac{1 - 0.885}{11.56 \cdot \lg(15.9)} = 0.850$$

3.4.7.4. Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi')^2$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi')$$

podstawa fundamentu jest pozioma, tzn.  $\alpha = 0 \text{ rad} \rightarrow b_q = b_\gamma = b_c = 1.00$

3.4.7.5. Charakterystyczny opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

Ze względu na brak poziomu zwierciadła wody gruntowej w obrębie podłoża fundamentu, nie uwzględniając uśrednienia ciężaru objętościowego I i II warstwy podłoża (zalecenie z Załącznika 1 PN-81/B-03020):

$\gamma' = \gamma$  i  $q' = q$  (wg pkt. 3.4.5.4.)

$$\begin{aligned} R_{k,v} &= A' \cdot (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma) = \\ &= 5.28 \cdot (21.7 \cdot 11.56 \cdot 1.27 \cdot 0.85 \cdot 1.00 + 24.24 \cdot 4.29 \cdot 1.21 \cdot 0.885 \cdot 1.00 + 0.5 \cdot 20.2 \cdot 2.0 \cdot 1.88 \cdot 0.77 \cdot 0.81 \cdot 1.00) \\ R_{k,v} &= 2196.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.4.7.6. Obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} = \frac{R_{k,v}}{\gamma_{R,v}} = \frac{2196.2}{1.4} = 1568.7 \text{ kN}$$

### 3.4.7.7. Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie pionowe

- wg pkt. 3.4.5.7.:

$$V_d = 1422.6 \text{ kN}$$

### 3.4.7.8. Warunek nośności podłoża w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} \geq V_d$$

$$R_{d,v} = 1568.7 \text{ kN} \geq V_d = 1422.6 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

- wykorzystanie nośności podłoża:

$$\frac{V_d}{R_{d,v}} \cdot 100\% = \frac{1422.6}{1568.7} \cdot 100\% = 90.7 \%$$

➔ zapas bezpieczeństwa nie przekracza 10% (wymiały przyjęte ekonomicznie i bezpiecznie)

### 3.4.8. Stan trwały w warunkach z odpływem (GEO2 – poślizg fundamentu)

Obliczeniowy opór ścinania wg PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3. wzór 6.3b:

$$R_d = V'_d \times \tan(\delta_k) / \gamma_{R;h}$$

gdzie:

$\delta_k$  – charakterystyczny kąt tarcia na styku fundamentu i gruntu;

$V'_d$  - wartość obliczeniowa efektywnego (z uwzględnieniem wyporu) oddziaływania pionowego  
lub składowej całkowitego oddziaływania, działającej prostopadle do podstawy fundamentu;

$\gamma_{R;h}$  - współczynnik częściowy do oporu na przesunięcie.

Ponieważ w tym przypadku współczynniki częściowe są stosowane do efektu oddziaływania (opór tarcia), to współczynnik częściowy do oddziaływań  $\gamma_F = 1.0$ , czyli  $V'_d = V'_k = V_k$ .

Zastosowano formułę na wypadkowy opór graniczny na poślizg w warunkach z odpływem:

$$R_{k,h} = V_k \times \tan(\delta_k)$$

#### 3.4.8.1. Wartość charakterystyczna kąta tarcia w kontakcie fundament-podłoże gruntowe

Według PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3. kąt tarcia w kontakcie fundament-grunt można przyjąć równy wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym  $\varphi'_{cv}$  dla fundamentów formowanych na gruncie oraz  $2/3$  tego kąta dla gładkich fundamentów prefabrykowanych.

Zakładając wariant mniej korzystny (stopy prefabrykowane) oraz zakładając  $\varphi'_{cv} = 2/3 \times \varphi'$  przyjmując:

$$\delta_k = 0.667 \times 15.9 = 10.6^\circ$$

Według zalecenia PN-EN 1997-1 pkt 6.5.3. pomija się efektywna spójność  $c'$ .

3.4.8.2. Charakterystyczny opór podłoża na poślizg w warunkach „z odpływem”

Wg pkt. 3.4.3.  $V_k = V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} + V_{Qk} = 1043.78 \text{ kN}$

$R_{k,h} = V_k \times \tan(\delta_k) = 1043.78 \times \tan(10.6) = 195.14 \text{ kN}$

3.4.8.3. Obliczeniowy opór podłoża na poślizg

$$R_{d,h} = \frac{R_{k,h}}{\gamma_{R,h}} = \frac{195.14}{1.1} = 177.40 \text{ kN}$$

3.4.8.4. Warunek nośności podłoża na poślizg w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,h} \geq H_d$$

Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie poziome wg pkt 3.4.6.4.:  $H_d = 165.6 \text{ kN}$

$$R_{d,h} = 177.40 \text{ kN} \geq H_d = 165.6 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

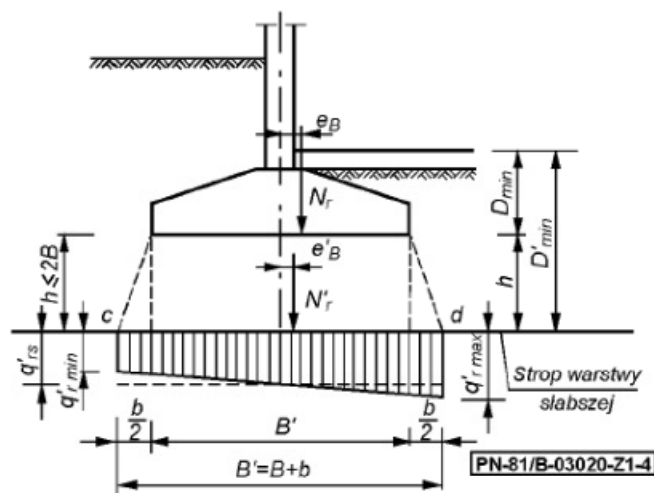
3.4.9. Stan przejściowy w warunkach bez odpływu – przebicie warstwy I i wyparcie gruntu warstwy II

Ze względu na niespoisty charakter materiału gruntowego znajdującego się w podłożu fundamentu pominięto sprawdzenie nośności II warstwy podłoża w warunkach wytrzymałości przejściowej.

3.4.10. Stan trwały w warunkach z odpływem – przebicie warstwy I i wyparcie gruntu warstwy II

Zgodnie z PN-EN 1997-1, pkt. 6.5.2.2. sprawdzono nośność II warstwy gruntu znajdującego się w podłożu, stosując ogólnie uznaną metodę analityczną, czyli wg Załącznika nr 1 normy PN-81/B-03020 i formułę na opór graniczny wg Załącznika informacyjnego D, pkt D.4. normy PN-EN 1997-1

Wg PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. Załącznik 1, pkt 2: Gdy w podłożu występuje słabsza warstwa geotechniczna na głębokości mniejszej niż  $2B$  poniżej poziomu posadowienia fundamentu, wtedy warunki  $N_r \leq m \cdot Q_{fNB}$  i  $N_r \leq m \cdot Q_{fNL}$ , należy sprawdzać również w podstawie zastępczego fundamentu (rys. Z1-4). Przekładając ten zapis na Eurokod 7:  $V_d \leq R_{d,v}$ .



Rys. Z1-4

3.4.10.1. Wymiary fundamentu zastępczego:  $B_z \times L_z$ .

$$B_z = B + b;$$

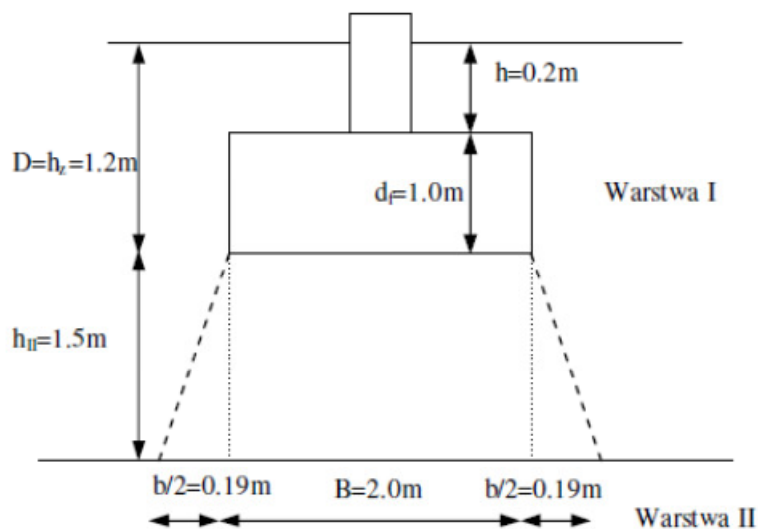
$$L_z = L + b;$$

przy czym:

| Rodzaj gruntów | $h \leq B$        | $h > B$            |
|----------------|-------------------|--------------------|
| spoisłe        | $b = \frac{h}{4}$ | $b = \frac{h}{3}$  |
| niespoisłe     | $b = \frac{h}{3}$ | $b = \frac{2}{3}h$ |

Według Załącznika nr 1 PN-81/B-03020 wymiary fundamentu zastępczego odpowiadają wymiarom fundamentu rzeczywistego, powiększonym o czynnik  $b$  dla  $h_{II} \leq B$  i gruntów spoiistych:

$$b = \frac{h_{II}}{4} = \frac{1.5}{4} = 0.38\text{m}$$



$$B_z = B + b = 2.0 + 0.38 = 2.38 \text{ m};$$

$$L_z = L + b = 3.0 + 0.38 = 3.38 \text{ m}$$

#### 3.4.10.2. Zestawienie obciążeń fundamentu zastępczego

Sprowadzono system obciążeń do poziomu warstwy II (poziom posadowienia fundamentu zastępczego o wymiarach  $B_z \times L_z$ ):

- charakterystyczna wartość ciężaru gruntu nad warstwą II objętego fundamentem zastępczym:

$$V_{Gk4} = B_z \times L_z \times h_{II} \times \gamma_{kl} = 2.38 \times 3.38 \times 1.5 \times 20.2 = 243.75 \text{ kN}$$

- charakterystyczna wartość oddziaływania pionowego:

$$V_k = V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} + V_{Gk4} + V_{Qk} = 783.00 + 23.27 + 150.00 + 1.2 + 243.75 + 90.00 = 1291.22 \text{ kN}$$

- charakterystyczna wartość oddziaływania poziomego wg 3.4.5.2.:

$$H_k = 118.00 \text{ kN}$$

- charakterystyczna wartość oddziaływania momentów, składowe oddziaływań wg 3.1.:

$$M_k = M_{Gk} + M_{Qk} + (H_{Gk} + H_{Qk}) \times (h_{II} + D) = 6.00 + 41.00 + (76.00 + 42.00) \times (1.50 + 1.20) = 365.60 \text{ kNm}$$

- wartości mimośrodków od oddziaływań całkowitych:

$$e'_B = 0 \text{ m}$$

$$e'_L = \frac{M_k}{V_k} = \frac{365.60}{1291.22} = 0.283 \text{ m}$$

### 3.4.10.3. Wymiary efektywne fundamentu zastępczego.

Dla obciążenia mimośrodowego w obliczeniach uwzględniamy wartości zredukowane (efektywne):

$$B'_z = B_z - 2 \cdot e'_B = 2.38 - 2 \cdot 0.00 = 2.38 \text{ m}$$

$$L'_z = L_z - 2 \cdot e'_L = 3.38 - 2 \cdot 0.283 = 2.814 \text{ m}$$

Efektywne pole fundamentu zastępczego:

$$A' = B'_z \times L'_z = 2.38 \times 2.85 = 6.70 \text{ m}^2$$

Proporcje wymiarów efektywnych:

$$\frac{L'_z}{B'_z} = \frac{2.814}{2.38} = 1.182 \quad \frac{B'_z}{L'_z} = \frac{2.38}{2.814} = 0.846$$

### 3.4.10.4. Współczynniki nośności warstwy II

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg} \varphi'} \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi'}{2} \right) = e^{\pi \cdot \text{tg}(35.4)} \text{tg}^2 \left( 45 + \frac{35.4}{2} \right) = 35.00$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\varphi') = (35.00 - 1) \cdot \text{ctg}(35.4) = 47.84$$

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

$$N_\gamma = 2 \cdot (35.00 - 1) \cdot \text{tg}(35.4) = 48.33$$

### 3.4.10.5. Współczynniki kształtu podstawy fundamentu

$$s_q = 1 + \frac{B'_z}{L'_z} \cdot \sin \varphi' = 1 + 0.85 \cdot \sin(35.4) = 1.49$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1.49 \cdot 35.00 - 1}{35.00 - 1} = 1.50$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B'_z}{L'_z} = 1 - 0.3 \cdot 0.85 = 0.75$$

### 3.4.10.6. Współczynniki nachylenia obciążenia

- warunek maksymalnego oddziaływania poziomego na podłoże:

$$H_k \leq V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg}(\varphi')$$

$H_k$  i  $V_k$  wg pkt. 3.4.10.2.:

$$H_k = 118 \text{ kN} < V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg}(\varphi') = 1291.22 + 6.78 \times 0.00 \times \text{ctg}(35.4) = 1291.22 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

Rozpatrujemy oddziaływania poziome w płaszczyźnie  $d_x L$ , przyjmujemy proporcje  $L_z'/B_z'$  wg pkt.

3.4.10.3.) i wykładnik  $m=m_L$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L_z'}{B_z'}}{1 + \frac{L_z'}{B_z'}} = \frac{2 + 1.18}{1 + 1.18} = 1.46$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg} \varphi'} \right]^m = \left( 1 - \frac{118}{1291.22} \right)^{1.46} = 0.866$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H_k}{V_k + A' \cdot c' \cdot \text{ctg} \varphi'} \right]^{m+1} = \left( 1 - \frac{118}{1291.22} \right)^{1.46+1} = 0.79$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \text{tg} \varphi'} = 0.87 - \frac{1 - 0.87}{47.84 \cdot \text{tg}(35.4)} = 0.87$$

3.4.10.7. Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \text{tg} \varphi')^2$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \cdot \text{tg} \varphi')$$

Nachylenie stropu warstwy II (podstawa fundamentu zastępczego), tzn.  $\alpha = 0 \text{ rad} \rightarrow$

$$b_q = b_\gamma = b_c = 1.00$$

3.4.10.8. Charakterystyczny opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

Ze względu na brak wody gruntowej w obrębie podłoża fundamentu zastępczego:

$$\gamma' = \gamma_{kII} = 17,5 \text{ kN/m}^3$$

$$q' = (D + h_{II}) \times \gamma_{kI} = (1.20 + 1.50) \times 20.2 = 54.54 \text{ kPa}$$

$$R_{k,v} = A' \cdot (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma_{II}' \cdot B_z' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma) =$$

$$= 6.70 \cdot (0.00 \cdot 47.84 \cdot 1.50 \cdot 0.87 \cdot 1.00 + 54.54 \cdot 35.00 \cdot 1.49 \cdot 0.866 \cdot 1.00 + 0.5 \cdot 17.5 \cdot 2.38 \cdot 48.33 \cdot 0.75 \cdot 0.79 \cdot 1.00)$$

$$R_{k,v} = 21\,151.6 \text{ kN}$$

3.4.10.9. Obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} = \frac{R_{k,v}}{\gamma_{R,v}} = \frac{21151.6}{1.4} = 15108 \text{ kN}$$

3.4.10.10. Całkowite, obliczeniowe oddziaływanie pionowe

$$V_d = (V_{Gk} + V_{Gk1} + V_{Gk2} + V_{Gk3} + V_{Gk4}) \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} + V_{Qk} \times \gamma_{Q, \text{niekorzystne}} = \\ = (783.00 + 23.27 + 150.00 + 1.2 + 243.75) \times 1.35 + 90.00 \times 1.50 = 1756.65 \text{ kN}$$

3.4.10.11. Warunek nośności podłoża fundamentu zastępczego w warunkach „z odpływem”

$$R_{d,v} \geq V_d$$

$$R_{d,v} = 15108 \text{ kN} \geq V_d = 1765.65 \text{ kN}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

**Wymiary fundamentu dobrano prawidłowo.**

UWAGA! Duży zapas nośności świadczy tylko o bardzo małym prawdopodobieństwie osiągnięcia stanu granicznego w warstwie II. Decydujący jest stan graniczny w warstwie I.



#### 4. Sprawdzenie warunków II SGU (SLS)

Według PN-EN 1997-1, pkt 6.6.1.(5), sprawdzenie warunków II SGU należy przeprowadzać na obliczeniowych wartościach oddziaływań.

##### 6.6 Sprawdzenie stanu granicznego użyteczności

###### 6.6.1 Postanowienia ogólne

- (1)P Należy uwzględnić przemieszczenia spowodowane oddziaływaniami na fundament, takimi jak wymienione w 2.4.2(4).
- (2)P Oceniając wartość przemieszczeń fundamentów, należy wziąć pod uwagę porównywalne doświadczenia, jak określono w 1.5.2.2. Jeżeli to potrzebne, należy również przeprowadzić obliczenia przemieszczeń.
- (3)P W plastycznych gruntach spoistych należy zawsze przeprowadzać obliczenia osiadań.
- (4) Dla fundamentów bezpośrednich posadowionych na gruntach spoistych o konsystencji plastycznej do twardoplastycznej, w 2. i 3. kategorii geotechnicznej zaleca się przeprowadzić obliczenia przemieszczeń pionowych (osiadań). Metody, których można użyć do obliczenia osiadań wywołanych obciążeniami fundamentu, opisano w 6.6.2.
- (5)P Przy obliczeniach przemieszczeń fundamentów w celu porównania ich z kryteriami użytkowania, należy przyjmować obliczeniowe wartości obciążeń stanu granicznego użyteczności.
- (6) Obliczeń osiadań nie zaleca się uważać za dokładne. Dostarczają one jedynie wartości przybliżonych.
- (7)P Należy przeanalizować przemieszczenia fundamentu, rozpatrując zarówno przemieszczenie całego fundamentu, jak i różnice przemieszczeń jego poszczególnych części.
- (8)P Przy obliczaniu przyrostu naprężeń w podłożu i ich wpływu na ścisłość gruntu, należy uwzględnić wpływ sąsiednich fundamentów i nasypów.
- (9)P Należy określić możliwy przedział względnych obrotów fundamentów i porównać je z odpowiednimi wartościami granicznymi przemieszczeń, wymienionymi w 2.4.9.

Zgodnie z treścią Załącznika Krajowego do Eurokodu 7 stany graniczne osiadań konstrukcji budynków zaleca się sprawdzać na podstawie następujących miar przemieszczeń i odkształceń:

$s_{\max}$ ,  $\theta_{\max}$ ,  $\Delta_{\max}$ ,  $\omega$ .

Tablica NA.3 – Wartości graniczne miar przemieszczeń i odkształceń dla budynków

| $s_{\max}$ [mm] | $\theta_{\max}$ [rad] | $\Delta_{\max}$ [mm] | $\omega$ [rad] |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 50              | 0,002                 | 10                   | 0,003          |

**Obliczenia według stanu granicznego użyteczności SGU (ang.: ULS) obejmują sprawdzenie:**

- osiadania fundamentu  $s_{\max}$ ;
- średniego osiadania fundamentów obiektu budowlanego ( $s_{sr}$ );
- przechylenia obiektu budowlanego jako całości lub jej części wydzielonej dylatacjami ( $\omega$ );
- odkształcenia konstrukcji: wygięcia (strzałka ugięcia) obiektu budowlanego jako całości lub jej części między dylatacjami ( $\Delta_{\max}$ );
- względnych różnic osiadania fundamentów ( $\theta_{\max} = \Delta s / l$ ).

#### 4.1. Maksymalne osiadanie fundamentów

W wyniku analizy stratygrafii podłoża oraz układu obciążeń działających na fundamente przyjęto, że maksymalne osiadania podłoża gruntowego wystąpią pod stopą fundamentową nr 5.

##### 4.1.1. Osiadanie stopy fundamentowej nr 5

###### 4.1.1.1. Założenia obliczeniowe

Eurokod 7 (PN-EN 1997-1) zaleca stosowanie „ogólnie uznanych metod wyznaczania osiadania”.

Do wyznaczenia osiadań zastosowano metodę sumowania odkształceń warstw podłoża, zgodnie z zaleceniami PN-EN 1997-1 Załącznik informacyjny F, pkt F.1.

Zgodnie z PN-EN 1997-1, pkt 6.6.2.(16) w przypadku posadowienia obiektu na gruntach spoistych zaleca się sprawdzenie wartości stosunku nośności przejściowej do użytkowego oddziaływania pionowego:

- wg pkt. 3.4.5.6. obliczeniowy opór podłoża na wyparcie w warunkach „bez odpływu”:

$$R_{d,v} = 1568.7 \text{ kN}$$

- wg pkt. 3.4.5.7. całkowite, obliczeniowe oddziaływanie pionowe:

$$V_d = 1422.6 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{d,v}}{V_d} = \frac{1568.7}{1422.6} = 1.10$$

- przy wartości stosunku **większej od 3** można pominąć obliczenia osiadania
- przy wartości **mniejszej od 2** powinno się uwzględnić efekt nieliniowej sztywności podłoża.

Ze względu na brak informacji na temat ilościowej zmienności sztywności podłoża w funkcji jego obciążenia (naprężenia), zastosowano model podłoża o stałej sztywności.

W obliczeniach osiadania fundamentu obliczeniowego pominięto wpływ obciążenia pochodzącego od sąsiadujących fundamentów.

Wymiary dna wykopu:  $B_w = 2.4 \text{ m}$ ,  $L_w = 3.4 \text{ m}$ ,

Głębokość wykopu:  $h_w = D = 1.2 \text{ m}$

Zgodnie z PN-EN 1997-1, pkt 6.6.2.(15), przyjęto liniowy rozkład nacisku podstawy fundamentu na podłoże.

##### 4.1.1.2. Rozkład nacisku podstawy fundamentu na podłoże.

$$q_{Ed} = \frac{V_d}{B \times L} \pm \frac{6 \times M_d}{B \times L^2}$$

$$B = 2.0 \text{ m}, L = 3.0 \text{ m}$$

$$V_d = 1422.61 \text{ kN}$$

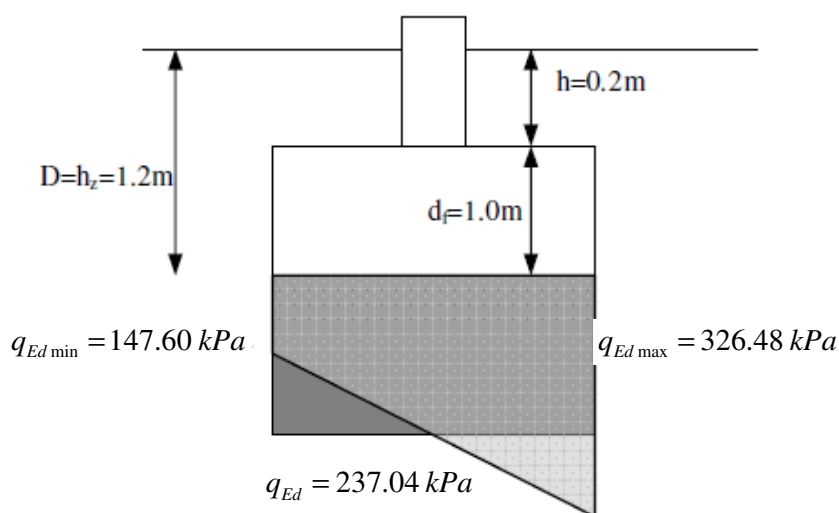
$$M_d = (M_{Gk} + H_{Gk} \times D) \times \gamma_{G, \text{niekorzystne}} + (M_{Qk} + H_{Qk} \times D) \times \gamma_{Q, \text{niekorzystne}} =$$

$$= (6.00 + 76.00 \times 1.20) \times 1.35 + (41.00 + 42.00 \times 1.20) \times 1.5 = 131.22 + 137.1 = 268.32 \text{ kNm}$$

$$q_{Ed} = \frac{1422.21}{2.0 \times 3.0} \pm \frac{6 \times 268.32}{2.0 \times 3.0^2} = 237.04 \pm 89.44$$

$$q_{Ed \max} = 326.48 \text{ kPa} \quad q_{Ed \min} = 147.60 \text{ kPa}$$

$$\overline{q_{Ed}} = 237.04 \text{ kPa}$$



#### 4.1.1.3. Osiadanie natychmiastowe w warunkach bez odpływu

Zgodnie z zapisem w PN-EN 1997-1, Załącznik informacyjny F, pkt F.4, sumowanie osiadań natychmiastowych wywołanych odkształceniami postaciowymi i kontraktancją sprężystą z osiadaniami konsolidacyjnymi często prowadzi do zawyżania całkowitej wartości osiadań. Z tego względu w obliczeniach pominięto wpływ osiadań natychmiastowych.

#### 4.1.1.4. Osiadanie długotrwałe - konsolidacyjne w warunkach z odpływem

Zgodnie z zapisem w PN-EN 1997-1, Załącznik informacyjny F, pkt F.4, do obliczenia osiadań konsolidacyjnych zastosowano model jednoosiowego stanu odkształceń.

Warstwy geotechniczne dzieli się na warstwy obliczeniowe. Osiadanie fundamentu wyznacza się jako sumę pionowych odkształceń poszczególnych warstw stanowiących podłoże obiektu, przy założeniu braku rozszerzalności bocznej.

$$s = \sum_{i=1}^n s_i$$

Sumowanie wykonuje się do określonej głębokości aktywnej oddziaływania naprężenia dodatkowego. Sumowania osiadań dokonuje się dla warstw obliczeniowych leżących do głębokości  $z_{\max}$  (zasięg strefy aktywnej).

Obliczenia osiadania podłoża zaleca się prowadzić do głębokości, w której naprężenia od obciążenia fundamentem nie przekraczają 20% naprężeń pierwotnych, tzn. spełniony jest warunek:

$$\sigma_{zq} \leq 0.2 \times \sigma_{zy}$$

Jeżeli w podłożu wykonano wykop, wskutek czego nastąpiło pewne odprężenie podłoża, a następnie grunt jest wtórnie obciążony, to w zakresie naprężenia wtórnego ( $\sigma_{zs}$ ) osiadanie oblicza się dla modułu wtórnego, a w zakresie naprężenia dodatkowego ( $\sigma_{zd}$ ) dla modułu pierwotnego.

$$\sigma_{zq} = \sigma_{zs} + \sigma_{zd}$$

$$s = \sum_{i=1}^n s''_i + \sum_{i=1}^n s'_i$$

$$s''_i = \frac{\sigma_{zsi} h_i}{M_i}; \quad s'_i = \frac{\sigma_{zdi} h_i}{M_{0i}}$$

$\sigma_{zsi}$  – składowa naprężenia wtórnego w środku warstwy

- odciążenie podłoża gruntem usuniętym z wykopu:

w wyniku wykonania wykopu na głębokość  $D = 1.2$  m podłoże gruntowe w poziomie dna wykopu zostało odciążone:

$$\bar{q} = \gamma_k \cdot h_w \cdot \gamma_{G, \text{korzystne}} = 20.2 \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 24.24 \text{ kPa}$$

- dyskretyzacja podłoża:

warstwy geotechniczne dzieli się na warstwy obliczeniowe o grubości  $h_i \leq 0.5B$ : przyjęto podział na 2 paski obliczeniowe o miąższości 0.75 m w warstwie I i 6 pasków obliczeniowych o miąższości 1.0 m w warstwie II

- wartości składowej pionowej naprężenia pierwotnego  $\sigma_{zy}$  w środkach pasków:

$$\sigma_{zyi} = \gamma_{ki} \times z_{yi}; \quad z_{yi} = D + z_i$$

gdzie:

$z_{yi}$  - zagłębienie środka warstwy obliczeniowej  $i$  poniżej poziomu terenu;

$z_i$  - zagłębienie środka warstwy obliczeniowej  $i$  poniżej poziomu posadowienia.

$$\sigma_{zyi} = \gamma_{ki} \times (D + z_i) = \gamma_{ki} \times D + \gamma_{ki} \times z_i = 24.24 + \gamma_{ki} \times z_i$$

Warstwa geotechniczna I:

pasek nr 1:  $z_1 = 0.75/2 = 0.375$  m,

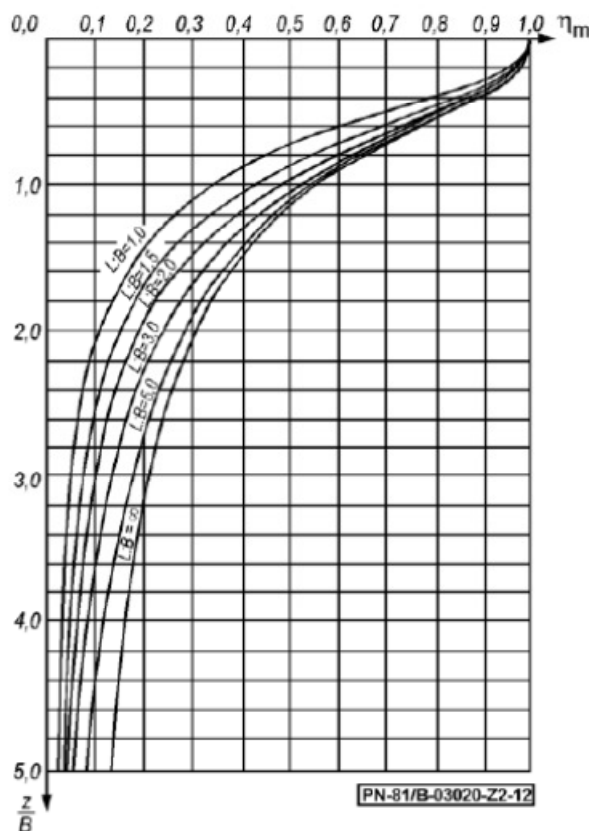
$$\sigma_{zy1} = 24.24 + 20.20 \times 0.38 = 31.82 \text{ kPa}$$

|                                              |                                                                                         |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| pasek nr 2: $z_2 = 0.75 + 0.75/2 = 1.125$ m, | $\sigma_{z\gamma 2} = 24.24 + 20.20 \times 1.13 = 46.97$ kPa                            |
| pasek nr 3: $z_3 = 1.50 + 1.00/2 = 2.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 3} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times 1.0/2 = 63.29$ kPa        |
| pasek nr 4: $z_4 = 2.50 + 1.00/2 = 3.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 4} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (1 + 1.0/2) = 80.79$ kPa  |
| pasek nr 5: $z_5 = 3.50 + 1.00/2 = 4.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 5} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (2 + 1.0/2) = 98.29$ kPa  |
| pasek nr 6: $z_6 = 4.50 + 1.00/2 = 5.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 6} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (3 + 1.0/2) = 115.79$ kPa |
| pasek nr 7: $z_7 = 5.50 + 1.00/2 = 6.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 7} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (4 + 1.0/2) = 133.29$ kPa |
| pasek nr 8: $z_8 = 6.50 + 1.00/2 = 7.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 8} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (5 + 1.0/2) = 150.79$ kPa |
| pasek nr 9: $z_9 = 7.50 + 1.00/2 = 8.00$ m,  | $\sigma_{z\gamma 9} = 24.24 + 20.20 \times 1.5 + 17.50 \times (6 + 1.0/2) = 168.29$ kPa |

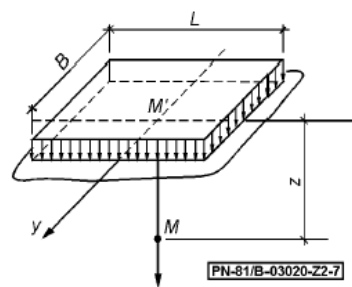
- wartości składowej pionowej naprężenia od odciążenia dna wykopu usuniętym gruntem w środkach pasków:

$$\bar{\sigma}_{z\gamma i} = \bar{q} \cdot \eta_{mi} = 24.24 \cdot \eta_{mi}$$

$\eta_{mi}$  - współczynnik zaniku naprężeń dla naprężenia pod środkiem wiotkiego prostokątnego obszaru obciążonego obciążeniem równomiernie rozłożonym, wg PN-81/B-03020, Załącznik 2, pkt.2.



$$\eta_m = \frac{2}{\pi} \left\{ \arctg \frac{\frac{L}{B}}{2 \frac{z}{B} \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + 4 \left(\frac{z}{B}\right)^2}} + \frac{2 \frac{L}{B} \frac{z}{B}}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + 4 \left(\frac{z}{B}\right)^2}} \left[ \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{z}{B}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{L}{B}\right)^2 + 4 \left(\frac{z}{B}\right)^2} \right] \right\}$$



Rys. Z2-7

Obliczamy wielkość odprężenia wykopem o wymiarach:

$$L_w = 3.4 \text{ m}; B_w = 2.4 \text{ m} \rightarrow L_w / B_w = 1.42$$

|                              |                  |                 |                                                            |
|------------------------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|
| pasek nr 1: $z_1 = 0.375$ m, | $z_1/B_w = 0.16$ | $\eta_m = 0.99$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.99 = 23.89$ kPa |
| pasek nr 2: $z_2 = 1.125$ m, | $z_2/B_w = 0.47$ | $\eta_m = 0.79$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 2} = 24.24 \times 0.79 = 19.23$ kPa |
| pasek nr 3: $z_3 = 2.00$ m,  | $z_3/B_w = 0.83$ | $\eta_m = 0.51$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.51 = 12.42$ kPa |
| pasek nr 4: $z_4 = 3.00$ m,  | $z_4/B_w = 1.25$ | $\eta_m = 0.31$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.31 = 7.49$ kPa  |
| pasek nr 5: $z_5 = 4.00$ m,  | $z_5/B_w = 1.67$ | $\eta_m = 0.20$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.20 = 4.82$ kPa  |
| pasek nr 6: $z_6 = 5.00$ m,  | $z_6/B_w = 2.08$ | $\eta_m = 0.14$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.14 = 3.30$ kPa  |
| pasek nr 7: $z_7 = 6.00$ m,  | $z_7/B_w = 2.50$ | $\eta_m = 0.10$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.10 = 2.38$ kPa  |
| pasek nr 8: $z_8 = 7.00$ m,  | $z_8/B_w = 2.92$ | $\eta_m = 0.07$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.07 = 1.80$ kPa  |
| pasek nr 9: $z_9 = 8.00$ m,  | $z_9/B_w = 3.33$ | $\eta_m = 0.06$ | $\bar{\sigma}_{z\gamma 1} = 24.24 \times 0.06 = 1.40$ kPa  |

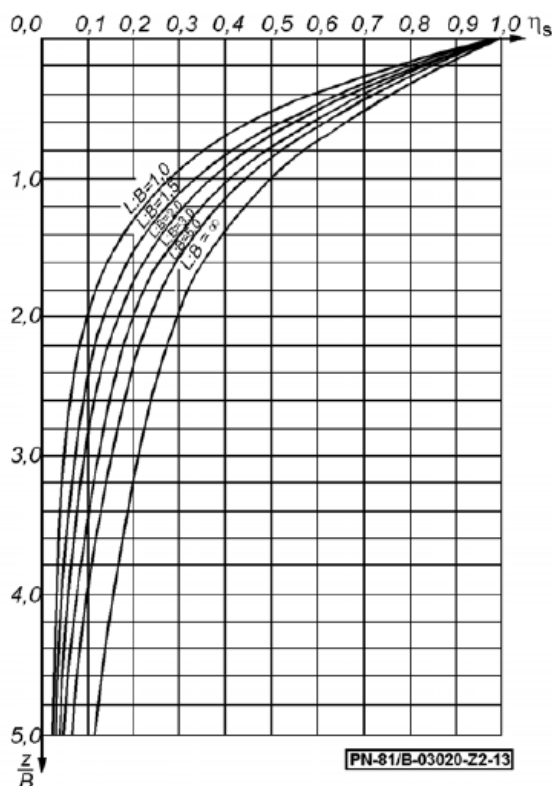
- wartości składowej pionowej naprężenia od obciążenia zewnętrznego (dociążenie dna wykopu) fundamentem o wymiarach  $B \times L$  (w środkach pasków):

$$\sigma_{zqi} = q \cdot \eta_{si} = 237.0 \cdot \eta_{si} \text{ [kPa]}$$

$q = \bar{q}_{Ed} = 237.0 \text{ kPa}$  wg pkt. 4.1.1.2.

$\eta_s$  - współczynnik zaniku naprężeń pod środkiem sztywnego prostokątnego fundamentu, wg PN-81/B-03020, Załącznik 2, pkt.2.

Rys. Z2-12



$$\eta_s = \frac{2}{\pi} \left\{ \arctg \frac{\frac{L}{B}}{\frac{z}{B} \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2}} + \right. \\ \left. - \frac{\frac{z}{B}}{\frac{L}{B}} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{z}{B}\right)^2} - \frac{z}{B} \right] \right\}$$

$$L = 3.0 \text{ m}; B = 2.0 \text{ m} \rightarrow L/B = 1.50$$

$$\text{pasek nr 1: } z_1 = 0.375 \text{ m}, \quad z_1/B = 0.19 \quad \eta_s = 0.82 \quad \sigma_{zq1} = 237.0 \times 0.82 = 193.43 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 2: } z_2 = 1.125 \text{ m}, \quad z_2/B = 0.56 \quad \eta_s = 0.54 \quad \sigma_{zq2} = 237.0 \times 0.54 = 127.17 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 3: } z_3 = 2.00 \text{ m}, \quad z_3/B = 1.00 \quad \eta_s = 0.33 \quad \sigma_{zq3} = 237.0 \times 0.33 = 79.28 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 4: } z_4 = 3.00 \text{ m}, \quad z_4/B = 1.50 \quad \eta_s = 0.21 \quad \sigma_{zq4} = 237.0 \times 0.21 = 48.92 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 5: } z_5 = 4.00 \text{ m}, \quad z_5/B = 2.00 \quad \eta_s = 0.14 \quad \sigma_{zq5} = 237.0 \times 0.14 = 32.24 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 6: } z_6 = 5.00 \text{ m}, \quad z_6/B = 2.50 \quad \eta_s = 0.09 \quad \sigma_{zq6} = 237.0 \times 0.09 = 22.51 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{zq6} = 22.51 \text{ kPa} < 0.2 \times \sigma_{z\gamma6} = 23.16 \text{ kPa} \rightarrow \text{kryterium spełnione}$$

Obliczenia osiadania można zakończyć na pasku nr 6.

$$\text{pasek nr 7: } z_7 = 6.00 \text{ m}, \quad z_7/B = 3.00 \quad \eta_s = 0.07 \quad \sigma_{zq7} = 237.0 \times 0.07 = 16.47 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 8: } z_8 = 7.00 \text{ m}, \quad z_8/B = 3.50 \quad \eta_s = 0.05 \quad \sigma_{zq8} = 237.0 \times 0.05 = 12.51 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 9: } z_9 = 8.00 \text{ m}, \quad z_9/B = 4.00 \quad \eta_s = 0.04 \quad \sigma_{zq9} = 237.0 \times 0.04 = 9.80 \text{ kPa}$$

- wartości składowej pionowej naprężenia dodatkowego (pierwotnego) w środkach pasków:

$$\text{a) gdy } \sigma_{zqi} \leq \bar{\sigma}_{z\gamma i} \rightarrow \sigma_{zsi} = \sigma_{zqi}; \quad \sigma_{zdi} = 0;$$

$$\text{b) gdy } \sigma_{zqi} > \bar{\sigma}_{z\gamma i} \rightarrow \sigma_{zsi} = \bar{\sigma}_{z\gamma i}; \quad \sigma_{zdi} = \sigma_{zqi} - \bar{\sigma}_{z\gamma i};$$

**W przykładzie zachodzi przypadek b)  $\rightarrow \sigma_{zqi} > \bar{\sigma}_{z\gamma i}$**

$$\text{pasek nr 1: } z_1 = 0.375 \text{ m}, \quad \sigma_{zd1} = 193.43 - 23.89 = 169.54 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 2: } z_2 = 1.125 \text{ m}, \quad \sigma_{zd2} = 127.17 - 19.23 = 107.94 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 3: } z_3 = 2.00 \text{ m}, \quad \sigma_{zd3} = 79.28 - 12.42 = 66.86 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 4: } z_4 = 3.00 \text{ m}, \quad \sigma_{zd4} = 48.92 - 7.49 = 41.59 \text{ kPa}$$

$$\text{pasek nr 5: } z_5 = 4.00 \text{ m}, \quad \sigma_{zd5} = 32.24 - 4.82 = 27.53 \text{ kPa}$$

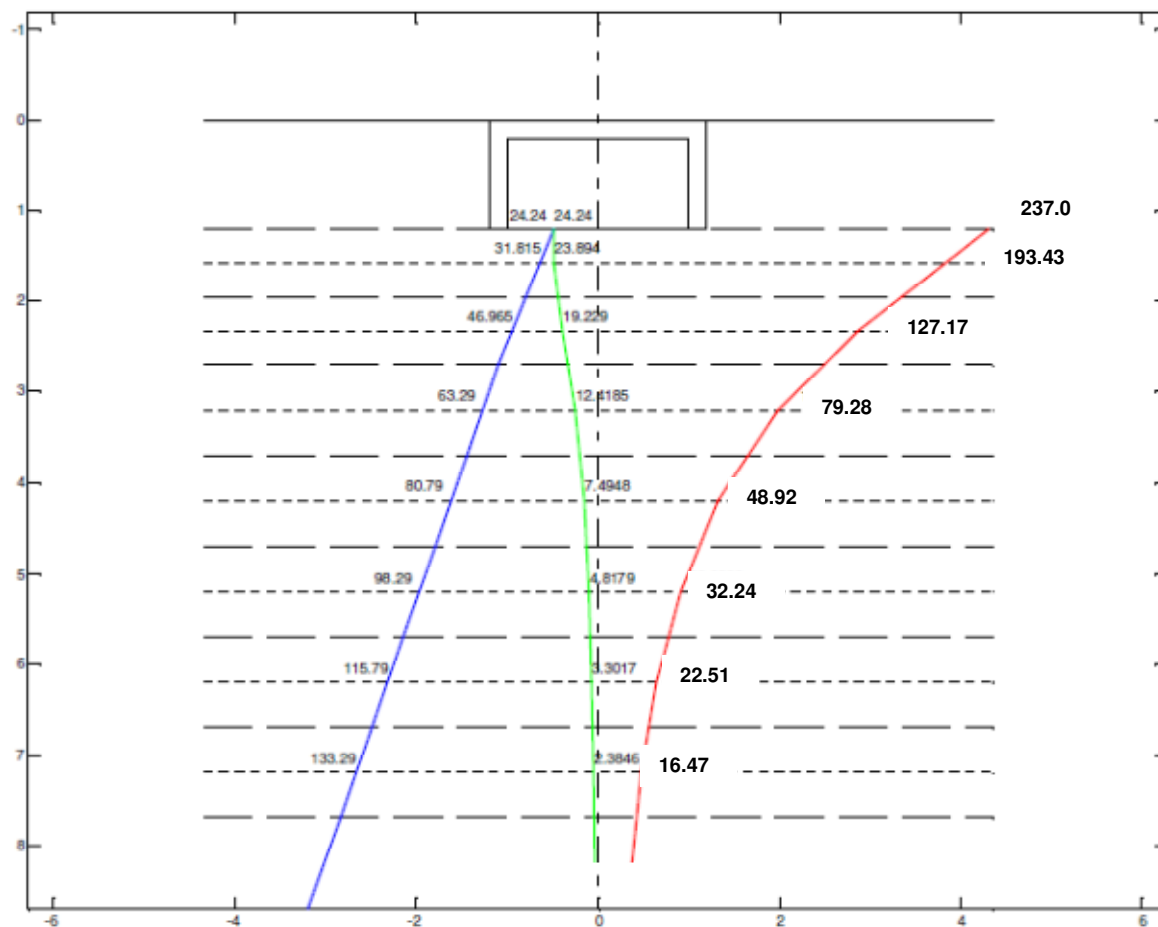
$$\text{pasek nr 6: } z_6 = 5.00 \text{ m}, \quad \sigma_{zd6} = 22.51 - 3.30 = 19.28 \text{ kPa}$$

- wartości składowej pionowej naprężenia wtórnego w środkach pasków:

$$\text{ponieważ zachodzi przypadek b) } \rightarrow \sigma_{zqi} > \bar{\sigma}_{z\gamma i}, \text{ zatem mamy: } \sigma_{zsi} = \bar{\sigma}_{z\gamma i}$$

Pozostałe obliczenia przedstawiono w tabeli:

| Rzędna środka warstwy obliczeniowej p.p.p - z [m] | Miąższość warstwy obliczeniowej h [m] | Napężenie pierwotne $\sigma_{z1}$ [kPa] | Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej $M_0$ [kPa] | Edometryczny moduł ściśliwości wtórnej $M$ [kPa] | z/B  | $\eta_s$ | z/B' | $\eta_m$ | Odpężenie gruntu $\sigma'_{zp}$ [kPa] | Napężenie wtórne $\sigma_{zs}$ [kPa] | Napężenie od obciążenia zewnętrznego $\sigma_{z1}$ [kPa] | Napężenie dodatkowe $\sigma_{zd} = \sigma_{z1} - \sigma_{zs}$ [kPa] | $0,2 \cdot \sigma_{z1}$ [kPa] | s' [mm] | s'' [mm] |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|----------|------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------|----------|
| 0.00                                              |                                       | 24.24                                   |                                                       |                                                  |      |          |      |          | -24.24                                | 24.24                                | 237.04                                                   | 212.80                                                              | 4.85                          |         |          |
| 0.38                                              | 0.75                                  | 31.82                                   | 22000.00                                              | 27500.00                                         | 0.19 | 0.82     | 0.16 | 0.99     | -23.89                                | 23.89                                | 193.43                                                   | 169.54                                                              | 6.36                          | 5.7798  | 0.6517   |
| 1.13                                              | 0.75                                  | 46.97                                   | 22000.00                                              | 27500.00                                         | 0.56 | 0.54     | 0.47 | 0.79     | -19.23                                | 19.23                                | 127.17                                                   | 107.94                                                              | 9.39                          | 3.6797  | 0.5244   |
| 2.00                                              | 1.00                                  | 63.29                                   | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 1.00 | 0.33     | 0.83 | 0.51     | -12.42                                | 12.42                                | 79.28                                                    | 66.86                                                               | 12.66                         | 0.6368  | 0.1064   |
| 3.00                                              | 1.00                                  | 80.79                                   | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 1.50 | 0.21     | 1.25 | 0.31     | -7.49                                 | 7.49                                 | 48.92                                                    | 41.42                                                               | 16.16                         | 0.3945  | 0.0642   |
| 4.00                                              | 1.00                                  | 98.29                                   | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 2.00 | 0.14     | 1.67 | 0.20     | -4.82                                 | 4.82                                 | 32.24                                                    | 27.43                                                               | 19.66                         | 0.2612  | 0.0413   |
| 5.00                                              | 1.00                                  | 115.79                                  | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 2.50 | 0.09     | 2.08 | 0.14     | -3.30                                 | 3.30                                 | 22.51                                                    | 19.21                                                               | 23.16                         | 0.1829  | 0.0283   |
| 6.00                                              | 1.00                                  | 133.29                                  | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 3.00 | 0.07     | 2.50 | 0.10     | -2.38                                 | 2.38                                 | 16.47                                                    | 14.08                                                               | 26.66                         | 0.1341  | 0.0204   |
| 7.00                                              | 1.00                                  | 150.79                                  | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 3.50 | 0.05     | 2.92 | 0.07     | -1.80                                 | 1.80                                 | 12.51                                                    | 10.72                                                               | 30.16                         | 0.1021  | 0.0154   |
| 8.00                                              | 1.00                                  | 168.29                                  | 105000.00                                             | 116700.00                                        | 4.00 | 0.04     | 3.33 | 0.06     | -1.40                                 | 1.40                                 | 9.80                                                     | 8.40                                                                | 33.66                         |         |          |
| Suma:                                             |                                       |                                         |                                                       |                                                  |      |          |      |          |                                       |                                      |                                                          |                                                                     |                               | 11.1711 | 1.4521   |



- osiadanie gruntu pod fundamentem (stopa nr 5):

$$s = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n s''_i + \sum_{i=1}^n s'_i = 1.45 + 11.17 = 12.62 \text{ mm}$$

#### 4.1.1.5. Osiadanie długotrwałe związane z pełzaniem gruntu

Obliczenia osiadania podłoża w pkt. 4.1.1.4. przeprowadzono stosując wartości modułów odkształcenia wyznaczone w warunkach konsolidacji filtracyjnej i pełzania. Pominięto odrębne obliczenia wartości osiadań związanych ze zjawiskiem pełzania gruntu.



#### 4.1.1.6. Warunek maksymalnego osiadania

Dopuszczalne wartości osiadań wg PN-EN 1997-1, pkt 2.4.8, powinny być zawarte w załączniku krajowym.

Według załącznika krajowego PN-EN 1997-1:2008/Ap2, pkt NA.3.2. Załącznik H, tab. NA.3., graniczne osiadanie dla powszechnie stosowanych konstrukcji budynków wynosi  $s_{\max}=50\text{mm}$ :

$$s = 12.62 \text{ mm} < s_{\max} = 50 \text{ mm}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

#### 4.1.2. Osiadania pozostałych stóp fundamentowych

- osiadanie środkowej stopy (stopa nr 5):  $s_5 = 12.62 \text{ mm}$
- osiadania wszystkich fundamentów:  $s_i = s_5 \cdot k_i$ ;  $i = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9$   
 $k_i = 0.9, 0.8, 0.65, 0.95, 0.7, 0.85, 0.9, 0.85$ . ( $k_5 = 1$ )

| nr stopy | wsp. k | s [mm] |
|----------|--------|--------|
| 1        | 0.90   | 11.36  |
| 2        | 0.80   | 10.10  |
| 3        | 0.65   | 8.21   |
| 4        | 0.95   | 11.99  |
| 5        | 1.00   | 12.62  |
| 6        | 0.70   | 8.84   |
| 7        | 0.85   | 10.73  |
| 8        | 0.90   | 11.36  |
| 9        | 0.85   | 10.73  |

#### 4.2. Średnie osiadanie fundamentów

Według wg PN-81/B-03020, pkt 3.4.6., średnie osiadanie fundamentów powinno być obliczane jako średnia ważona ich osiadań, gdzie wagami są pola powierzchni poszczególnych fundamentów.

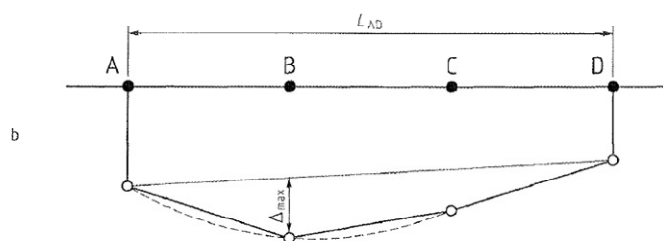
$$\bar{s} = \frac{\sum s_{(i)} \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Ze względu na przyjęcie jednakowych wymiarów dla pozostałych stóp fundamentowych:

$$s_{\text{sr}} = \Sigma s / 9 = 95.94 / 9 = 10.66 \text{ mm} < s_{\max} = 50 \text{ mm}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

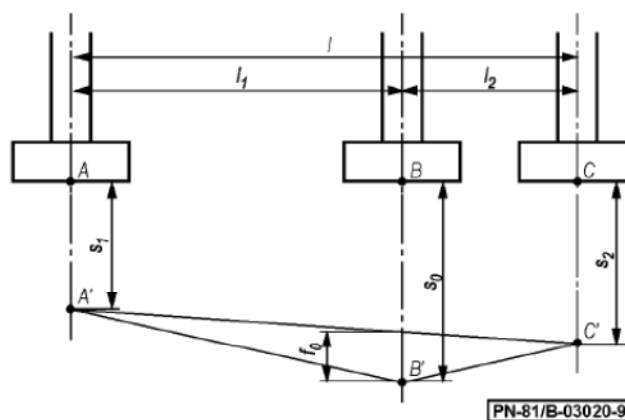
#### 4.3. Strzałka ugięcia - $\Delta$ .



Zastosowano formułę wg PN-81/B-3020, pkt 3.4.6.: sprawdzając wszystkie kombinacje trójek stóp znajdujących się w linii prostej na planie fundamentów:

$$f_0 = \frac{1}{l}(l \cdot s_0 - l_1 \cdot s_2 - l_2 \cdot s_1) \quad (15)$$

w którym wszystkie wielkości są przedstawione na rys. 9.



Rys. 9

1) stopy nr 1-2-3:  $\Delta_{1-2-3} = f_{1-2-3} = \frac{1}{12.0} (12.0 \times s_2 - 6.0 \times s_1 - 6.0 \times s_3)$

$$\Delta_{1-2-3} = (12.0 \times 10.10 - 6.0 \times 11.36 - 6.0 \times 8.21) / 12 = 0.315 \text{ mm}$$

2) stopy nr 4-5-6:  $\Delta_{4-5-6} = \frac{1}{12.0} (12.0 \times s_5 - 6.0 \times s_4 - 6.0 \times s_6)$

$$\Delta_{4-5-6} =$$

3) stopy nr 7-8-9:

4) stopy nr 1-4-7:

5) stopy nr 2-5-8:

6) stopy nr 3-6-9: - (?)

7) stopy nr 1-5-9:

8) stopy nr 3-5-7:  $\Delta_{3-5-7} = \frac{1}{\sqrt{12^2 + 18^2}} (\sqrt{12^2 + 18^2} \times s_5 - \sqrt{6^2 + 9^2} \times s_3 - \sqrt{6^2 + 9^2} \times s_7)$

$$\Delta_{3-5-7} = (21.63 \times 12.62 - 10.81 \times 8.21 - 10.81 \times 10.73) / 21.63 = 3.15 \text{ mm}$$

Dopuszczalna wartość strzałki ugięcia wg załącznika krajowego PN-EN 1997-1:2008/Ap2, pkt NA.3.2.

Załącznik H, tab. NA.3.:  $\Delta_{\max} = 10 \text{ mm}$

$$\max(\Delta) = \Delta_{3-5-7} = 3.15 \text{ mm} < \Delta_{\max} = 10 \text{ mm}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

#### 4.4. Przechylenie budowli - $\omega$

Zastosowano formułę wg PN-81/B-3020, pkt 3.4.6. (aproxymacja 2D płaszczyzną  $s = ax + by + c$  wartości osiadań wszystkich fundamentów):

$$\omega = \sqrt{a^2 + b^2}$$

gdzie wartości  $a$  i  $b$  wyznacza się z układu równań:

$$a \sum x_j^2 + b \sum x_j y_j + c \sum x_j = \sum x_j s_j$$

$$a \sum x_j y_j + b \sum y_j^2 + c \sum y_j = \sum y_j s_j$$

$$a \sum x_j + b \sum y_j + nc = \sum s_j$$

$n$  jest liczbą fundamentów ( $n=9$ ) a  $x$  i  $y$  współrzędnymi środków fundamentów względem założonego układu współrzędnych:

| nr stopy | wsp. k | s [mm] | x [m] | y [m] | $x^2$ [m <sup>2</sup> ] | $xy$ [m <sup>2</sup> ] | $y^2$ [m <sup>2</sup> ] | $sx$ [m <sup>2</sup> ] | $sy$ [m <sup>2</sup> ] |
|----------|--------|--------|-------|-------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 1        | 0.90   | 11.36  | 0.00  | 18.00 | 0.00                    | 0.00                   | 324.00                  | 0.00000                | 0.20450                |
| 2        | 0.80   | 10.10  | 6.00  | 18.00 | 36.00                   | 108.00                 | 324.00                  | 0.06059                | 0.18177                |
| 3        | 0.65   | 8.21   | 12.00 | 18.00 | 144.00                  | 216.00                 | 324.00                  | 0.09846                | 0.14769                |
| 4        | 0.95   | 11.99  | 0.00  | 9.00  | 0.00                    | 0.00                   | 81.00                   | 0.00000                | 0.10793                |
| 5        | 1.00   | 12.62  | 6.00  | 9.00  | 36.00                   | 54.00                  | 81.00                   | 0.07574                | 0.11361                |
| 6        | 0.70   | 8.84   | 12.00 | 9.00  | 144.00                  | 108.00                 | 81.00                   | 0.10603                | 0.07953                |
| 7        | 0.85   | 10.73  | 0.00  | 0.00  | 0.00                    | 0.00                   | 0.00                    | 0.00000                | 0.00000                |
| 8        | 0.90   | 11.36  | 6.00  | 0.00  | 36.00                   | 0.00                   | 0.00                    | 0.06817                | 0.00000                |
| 9        | 0.85   | 10.73  | 12.00 | 0.00  | 144.00                  | 0.00                   | 0.00                    | 0.12876                | 0.00000                |
| Sumy:    |        | 95.94  | 54.00 | 81.00 | 540.00                  | 486.00                 | 1215.00                 | 0.53775                | 0.83503                |

$$\begin{bmatrix} 540 & 486 & 54 \\ 486 & 1215 & 81 \\ 54 & 81 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.53775 \\ 0.83503 \\ 0.09594 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.75 \times 10^{-4} \\ -5.84 \times 10^{-5} \\ 1.22 \times 10^{-2} \end{bmatrix} \Rightarrow \omega = 1.85 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Dopuszczalna wartość przechylenia budowli wg załącznika krajowego PN-EN 1997-1:2008/Ap2, pkt NA.3.2. Załącznik H, tab. NA.3.:  $\omega_{\max} = 0.003 \text{ rad}$

$$\omega = 0.00018 \text{ rad} < \omega_{\max} = 0.003 \text{ rad}$$

**WARUNEK SPEŁNIONY**

**KONIEC**