

**Paweł GALAS**

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie  
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

## **Analiza nośności i osiadań podłoża z gruntów niespoistych obciążonego fundamentem bezpośrednim według Eurokodu 7 – rozwiązanie zadania 2.1 ETC 10**

### **Bearing capacity and settlements analysis of cohesionless soils loaded by shallow foundation according to Eurocode 7 – solution of 2.1 design example ETC 10**

**Słowa kluczowe:** Eurokod 7, stany graniczne nośności, stany graniczne użyteczności, posadowienie bezpośrednie, sondowanie CPT

**Key words:** Eurocode 7, ultimate limit states, serviceability limit states, shallow foundation, CPT sounding

#### **Wprowadzenie**

Wdrażanie do polskiej praktyki projektowej Eurokodu 7 wymaga od inżynierów zapoznania się z metodyką doboru parametrów geotechnicznych oraz zasadami projektowania konstrukcji geotechnicznych. Służą temu m.in. normy PN-EN 1997-1:2004. Eurokod 7. Część 1 oraz PN-EN 1997-2:2007. Eurokod 7. Część 2. Międzynarodowe Stowarzyszenie Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej powołało do życia Europejski Komitet Techniczny 10 (ETC 10). W lipcu 2009 roku ETC 10 dostarczył zestaw 6 zadań projektowych. Inżynierowie

oraz pracownicy instytucji naukowo-badawczych poproszeni zostali o przedstawienie własnych propozycji rozwiązania zadań według zasad Eurokodu 7. Osoby uczestniczące w niniejszym przedsięwzięciu zobligowane zostały do wyznaczenia wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych na podstawie dostarczonych wyników badań laboratoryjnych i terenowych oraz zaprojektowania konstrukcji geotechnicznych zgodnie z zasadami Eurokodu 7. Efekty tych działań zostaną zaprezentowane na spotkaniu reprezentantów krajów europejskich w kwietniu 2010 roku we Włoszech, na którym omówione zostaną rozwiązania oraz stanowiska poszczególnych krajów wdrażających Eurokod 7.

W artykule przedstawiono propozycję rozwiązania pierwszego ze zbioru sześciu zadań dostarczonych przez ETC 10: Stopa fundamentowa posadowiona na za-

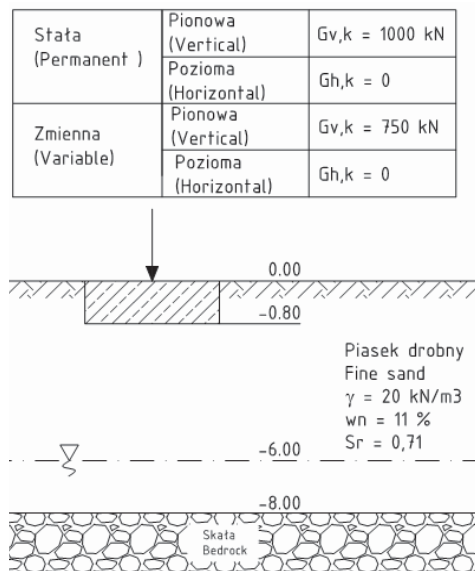
gęszczonym piasku poddana osiowemu obciążeniu pionowemu.

## Metodyka obliczeń

Punktem wyjściowym do prac projektowych był zestaw danych zawierający: układ sił działających na fundament, warunki geotechniczne, wyniki badań CPT oraz lokalizację sondowań.

Analizowany przypadek charakteryzuje się prostym układem obciążeń. Zakłada się, iż na fundament oddziałują wyłącznie osiowe siły pionowe stałe oraz zmienne. Siły poziome oraz momenty zginające w poziomie posadowienia określone zostały jako równe zero (rys. 1).

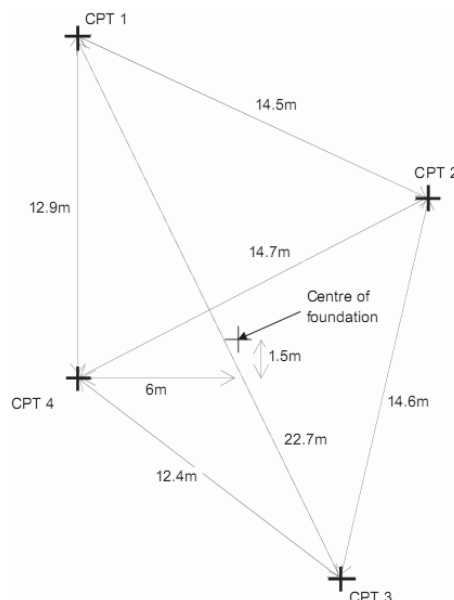
W podłożu zalegają piaski drobne o ciężarze objętościowym  $20 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , wilgotności naturalnej  $w_n = 11\%$ , stop-



RYSUNEK 1. Schemat obliczeniowy i wartości charakterystyczne oddziaływań  
FIGURE 1. Design scheme and characteristic values of actions

niu wilgotności  $S_r = 0,71$ . Nawiercony poziom wody gruntowej wynosi około 6,0 m ppt. Strop warstwy, którą można uznać za nieodkształcalną zalega na głębokości 8,0 m ppt. (rys. 1).

Wykonano 4 sondowania CPT do głębokości 8,0 m ppt. Lokalizację każdego z badań przedstawiono na rysunku 2. Dostarczone wyniki badań wskazują na wartości oporu stożka ( $q_c$ ) w zakresie 5–20 MPa (rys. 3).



RYSUNEK 2. Lokalizacja sondowań CPT  
FIGURE 2. Localization of CPT soundings

Zadaniem jest zaprojektowanie wymiarów stopy fundamentowej w danych warunkach geotechnicznych i układzie obciążeń przy uwzględnieniu dopuszczalnej wartości osiadań stopy  $s_{dop} = 25 \text{ mm}$ .

Proces projektowania fundamentu sprowadzono do obliczeń stanu granicznego nośności oraz stanu granicznego użyteczności. Stan graniczny nośności sprawdzono zgodnie z załącznikiem D normy PN-EN 1997-1:2004. Norma

określa, iż nośność podłoża nie zostanie przekroczona, gdy zachowana będzie nierówność:

$$V_d \leq R_d \quad (1)$$

gdzie:

$V_d$  – wartość obliczeniowa obciążenia [kN],

$R_d$  – wartość obliczeniowa oporu granicznego podłoża [kN].

Opór graniczny podłoża dla warunków z odpływem oblicza się ze wzoru:

$$\frac{R_d}{A'} = c' N_c s_c b_c i_c + q' N_q s_q b_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma b_\gamma i_\gamma \quad (2)$$

gdzie:

$A'$  – zredukowana powierzchnia podstawy fundamentu  $A' = L'B'$  [m<sup>2</sup>],

$c'$  – spójność efektywna gruntu [kPa],

$\gamma'$  – obliczeniowy efektywny ciężar objętościowy gruntu zalegającego poniżej podstawy fundamentu [kN·m<sup>-3</sup>],

$q'$  – obliczeniowy efektywny nacisk nadkładu w poziomie podstawy fundamentu [kPa],

$N_c, N_q, N_\gamma$  – współczynniki nośności [–],

$s_c, s_q, s_\gamma$  – współczynniki kształtu fundamentu [–],

$i_c, i_q, i_\gamma$  – współczynniki nachylenia obciążenia [–],

$b_c, b_q, b_\gamma$  – współczynniki nachylenia podstawy fundamentu.

W celu wyznaczenia wymiarów fundamentów, zapewniających spełnienie warunku dopuszczalnego osiadania stopy fundamentowej, wykorzystano metodę Schmertmanna i innych (1978). Obliczenia osiadań wykonano zgodnie z równaniem:

$$s = C_1 C_2 (q - \sigma'_{vo}) \cdot \int_0^z \frac{I_z}{C_3 E'} dz \quad (3)$$

gdzie:

$C_1$  – współczynnik poprawkowy ze względu na głębokość posadowienia [–],

$C_2$  – współczynnik poprawkowy uwzględniający pełzanie gruntu [–],

$C_3$  – współczynnik poprawkowy ze względu na kształt fundamentu [–],

$\sigma'_{vo}$  – efektywne geostatyczne naprężenie pionowe w poziomie posadowienia [kPa],

$q$  – naprężenie w poziomie posadowienia wywołane obciążeniem zewnętrznym [kPa],

$I_z$  – współczynnik wpływu odkształceń [–],

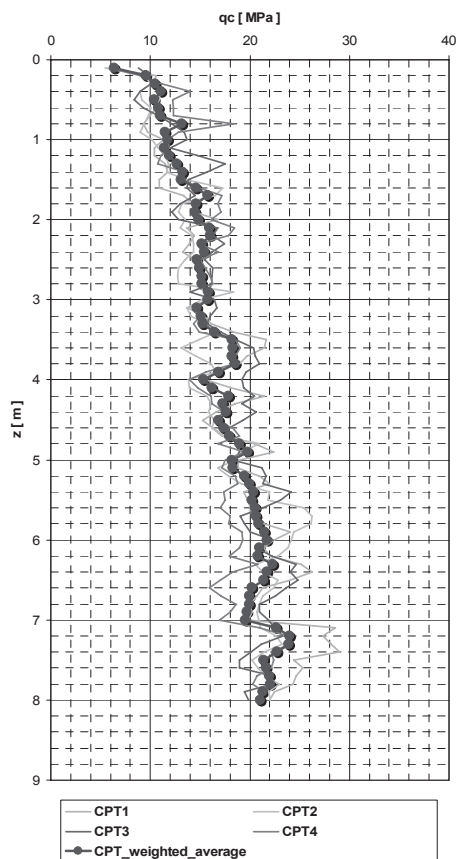
$E'$  – moduł odkształcenia danej warstwy [kPa].

Wymiary fundamentu dobrano, wykorzystując podejście obliczeniowe DA2. W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki dla zaprojektowanych wymiarów fundamentu według DA2, ale z wykorzystaniem podejść obliczeniowych DA1(1), DA1(2), DA3. Przedstawiono również wyniki obliczeń dla wymiarów stopy  $B = L = 2,0$  m oraz minimalne wymiary fundamentu wyznaczone z poszczególnych podejść projektowych według Eurokodu 7 oraz PN-81/B-03020.

## Wyniki obliczeń

### Stan graniczny nośności

Kąt tarcia wewnętrznego wyznaczano na podstawie reprezentatywnego profilu  $q_c$  (rys. 3). Profil reprezentatywny określono, biorąc pod uwagę każde

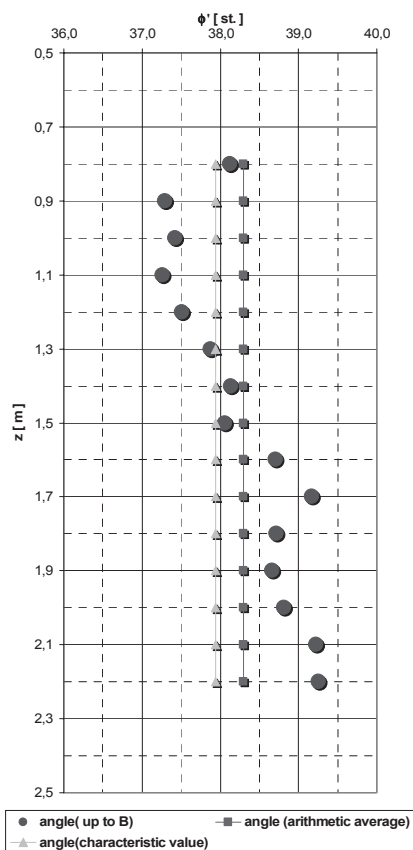


RYSUNEK 3. Reprezentatywny profil  $q_c$   
 FIGURE 3. Representative profile of  $q_c$

z badań CPT, jednakże sondowanie CPT 4 potraktowano jako wiodące (najbliżej położone w stosunku do fundamentu). Wyznaczono zatem średnią ważoną  $q_c$ , uwzględniając usytuowanie poszczególnych profili CPT, za wagę przyjęto odległości poszczególnych sondowań od fundamentu. Kąt tarcia wewnętrznego wyznaczono z zależności (PN-EN 1997-2:2007):

$$\varphi' = 13,5 \log q_c + 23 \quad (4)$$

Wykorzystując zależność (4) wyznaczano wartość  $\tan\varphi'$  do głębokości  $B$  poniżej poziomu posadowienia (rys. 4).



RYSUNEK 4. Kąt tarcia wewnętrznego  
 FIGURE 4. Angle of internal friction

Ze zbioru wyznaczonych w ten sposób wartości  $\tan\varphi'$  obliczono średnią arytmetyczną ( $X_m$ ) oraz odchylenie standardowe ( $S_d$ ). Wartość charakterystyczną ( $X_k$ ) kąta tarcia wewnętrznego określono, wykorzystując metodę Schneidera (1999):

$$X_k = X_m - 0,5S_d \quad (5)$$

gdzie:

$$X_m = \frac{\sum x_i}{n} = 0,79$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X_m)^2}{n - 1}} = 0,02$$

$$X_k = X_m - 0,5S_d = 0,79 - 0,5 \cdot 0,02 = 0,78, \text{ zatem } \tan\varphi' = 0,78 \\ \tan\varphi' = 0,78 \rightarrow \varphi' = 37,9^\circ$$

Wartość charakterystyczną kąta tarcia wewnętrznego wynosi  $j'k = 37,9^\circ$ .

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych wyznaczono, wykorzystując współczynniki częściowe z tablicy A.4 – zestaw M1 (PN-EN 1997-1:2004).

Wartość charakterystyczną obciążeń przyjęto na podstawie obciążeń przekazywanych przez konstrukcję (uwzględniano ciężar fundamentu). Sumaryczna wartość charakterystyczna obciążenia pionowego przy wymiarach fundamentu  $B = L = 1,4$  m wynosi:

$$V_k = G_{v,k} + G_{p,k} + Q_{v,k} = 1000 + 39 + 750 = 1789 \text{ kN}$$

gdzie  $G_{p,k}$  – wartość charakterystyczna obciążenia od ciężaru stopy fundamentowej przy wymiarach  $B = L = 1,4$  m.

Wartość obliczeniową obciążeń wyznaczono, wykorzystując współczynniki częściowe z tablicy A.3 – zestaw A1 (PN-EN 1997-1:2004):

$$V_d = (G_{v,k} + G_{p,k})\gamma_G + Q_{v,k}\gamma_Q = (1000 + 39) \cdot 1,35 + 750 \cdot 1,5 = 2528 \text{ kN}$$

Współczynniki częściowe oporu podłoża przyjęto zgodnie z tablicą A.5 (PN-EN 1997-1:2004):

$$R_k = (c'N_c s_c b_c i_c + q'N_q s_q b_q i_q + 0,5\gamma' B' N_{\gamma} s_{\gamma} b_{\gamma} i_{\gamma}) A' = (0 + 16 \cdot 48,29 \cdot 1,61 \cdot 1 \cdot 1 + 0,5 \cdot 20 \cdot 1,4 \cdot 73,63 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 1,4 \cdot 1,4 = (0 + 1243,95 + 721,57) \cdot 1,96 = 3852 \text{ kN}$$

Wartość charakterystyczna oporu podłoża gruntowego  $R_k = 3852$  kN.

Globalny współczynnik bezpieczeństwa (OFS) wynosi:

$$\text{OFS} = R_k / V_k = 3852 / 1789 = 2,15$$

$$V_d < R_d$$

$$V_d = 2528 \text{ kN} < R_d = R_k / \gamma_{R,v} = 3852 / 1,4 = 2751 \text{ kN}$$

Współczynnik wykorzystania nośności ( $\Lambda$ ) wynosi:

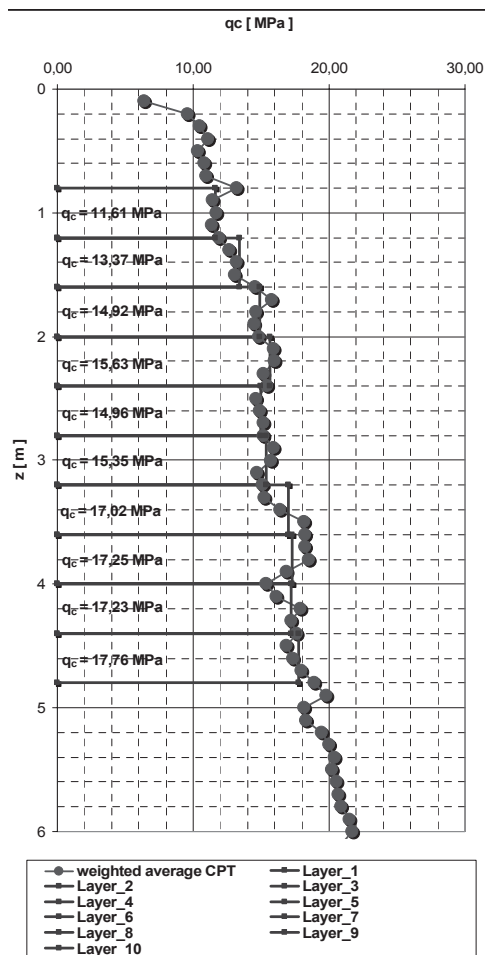
$$\Lambda = V_d / R_d = 2528 / 2751 = 0,92$$

Dla wymiarów stopy fundamentowej  $B = L = 1,4$  m stan graniczny nośności nie został przekroczony.

### Stan graniczny użyteczności

Sprawdzenie warunku stanu granicznego użyteczności w ujęciu normy PN-EN 1997-1:2004 nie jest jednoznaczne, albowiem dokument dostarcza bardzo ogólnych wytycznych obliczania osiadań podłoża. Wyznaczanie wartości osiadań wyłącznie na podstawie wyników badań CPT nie jest w Polsce rozpowszechnione i szeroko wykorzystywane w zagadnieniach praktycznych. Analizowany przypadek wymagał jednak wykorzystania metody uwzględniającej wyniki badań terenowych CPT oraz charakter odkształceń podłoża obciążonego stopą fundamentową. Do obliczeń wykorzystano metodę Schmertmanna i innych (1978).

Podłoże poniżej poziomu posadowienia podzielono na skończoną liczbę warstw obliczeniowych ( $\Delta z$ ) do głębokości  $2B$  (stopy kwadratowe  $L/B = 1$ ). Każda z warstw reprezentuje sztywność gruntu zgodną z wynikami badań (w tym przypadku  $q_c$ ). Wartość oporu stożka ( $q_c$ ) i modułu odkształcenia ( $E'$ ) wyznaczono oddzielnie dla każdej z wydzielonych warstw (rys. 5).



RYSUNEK 5. Warstwy obliczeniowe wykorzystane w obliczeniach osiadań  
 FIGURE 5. Calculation layer used in settlement analysis

Obliczenia prowadzono przy wykorzystaniu wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych oraz obciążeń.

Wartość charakterystyczną modułu odkształcenia przyjęto w zależności od oporu zagłębienia stożka. Do wyznaczenia modułów odkształcenia wykorzystano profil reprezentatywny  $q_c$  oraz zależność:

$$E' = 2,5 q_c \quad (6)$$

Wartość charakterystyczną obciążeń przyjęto na podstawie obciążeń przekazywanych przez konstrukcję (uwzględniano ciężar fundamentu). Sumaryczna wartość charakterystyczna obciążenia pionowego przy wymiarach fundamentu  $B = L = 2,0$  m wynosi:

$$V_k = G_{v,k} + G_{p,k} + Q_{v,k} = 1000 + 80 + 750 = 1830 \text{ kN}$$

gdzie  $G_{p,k}$  – wartość charakterystyczna obciążenia od ciężaru stopy fundamentowej przy wymiarach  $B = L = 2,0$  m.

Wartości osiadań zbliżone do granicznych ( $s_{dop} = 25$  mm) otrzymano dla wymiarów stopy fundamentowej  $B = L = 2,0$  m (tab. 1).

Obliczenia wykazały, że stosując podejście DA2 wymiary fundamentu, przy których uzyskuje się stan graniczny nośności, wynoszą  $B = L = 1,4$  m. Jednakże nieprzekroczenie stanu granicznego użyteczności wymaga minimalnych wymiarów  $B = L = 2,0$  m. Prawdopodobnie zaprojektowana konstrukcja lub jej element składowy nie powinny przekraczać obu stanów granicznych, zatem za wiążący należy uznać stan graniczny użyteczności i przyjęcie stopy fundamentowej  $B = L = 2,0$  m.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń nośności podłoża dla wymiarów stopy, przy których uzyskuje się stan graniczny nośności według podejścia DA2. Bardzo zbliżone zapasy bezpieczeństwa uzyskano przy zastosowaniu obliczeń według PN-81/B-03020. Podejście projektowe DA1(1) wykazuje stosunkowo duży zapas bezpieczeństwa  $\Lambda = 0,65$ , zatem zgodnie z tym podejściem nie zachodzi konieczność zwiększenia wymiarów stopy. Podejścia projektowe DA1(2) oraz DA3 wskazują na konieczność zwiększenia wymiarów fundamentu.

TABELA 1. Wyniki obliczeń osiadań  
TABLE 1. Results of settlement calculations

Warstwa Layer	Strop Top	Spąg Bottom	Głębokość Depth	$\Delta z$	$q_c$	$E'$	$I_z$	$(I_z \times \Delta z)/C_3 E'$	$s$
–	m	m	m	m	kPa	kPa	–	mm·kPa <sup>-1</sup>	mm
1	0	-0,4	-0,2	0,4	11610	29025	0,2490	0,0027	1,833
2	-0,4	-0,8	-0,6	0,4	13370	33425	0,5471	0,0052	3,496
3	-0,8	-1,2	-1	0,4	14920	37300	0,8452	0,0073	4,840
4	-1,2	-1,6	-1,4	0,4	15630	39075	0,7325	0,0060	4,004
5	-1,6	-2	-1,8	0,4	14960	37400	0,6198	0,0053	3,540
6	-2	-2,4	-2,2	0,4	15350	38375	0,5072	0,0042	2,823
7	-2,4	-2,8	-2,6	0,4	17020	42550	0,3945	0,0030	1,980
8	-2,8	-3,2	-3	0,4	17250	43125	0,2818	0,0021	1,396
9	-3,2	-3,6	-3,4	0,4	17230	43075	0,1691	0,0013	0,839
10	-3,6	-4	-3,8	0,4	17760	44400	0,0564	0,0004	0,272
Suma Total	×	×	×	4	×	×	×	×	25,0

TABELA 2. Porównanie wyników obliczeń nośności podłoża dla wymiarów stopy fundamentowej  $B = L = 1,4$  m

TABLE 2. Comparison of vertical bearing resistance of soil for dimensions of pad footing  $B = L = 1,4$  m

Parametr Parameter	DA1(1)	DA1(2)	DA2	DA3	PN	DAk	PNk
$V_k$	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789
$R_k$	3852	1626	3852	1626	4916	3852	4916
$R_k / V_k$	2,15	0,91	2,15	0,91	2,75	2,15(OFS)	2,75(OFS)
$V_d$	2528	2014	2528	2528	2147	–	–
$R_d$	3852	1626	2751	1626	2352	–	–
$\Lambda$	0,65	1,24	0,92	1,55	0,91	–	–

Objaśnienia / Explanations:

DA – podejście obliczeniowe według Eurokod 7 / design approach according to Eurocode 7,

PN – obliczenia według PN-81/B-03020 / calculations according to PN-81/B-03020,

$V_k$  – wartość charakterystyczna obciążania / characteristic value of load [kN],

$R_k$  – wartość charakterystyczna oporu podłoża gruntowego / characteristic value of vertical bearing resistance [kN],

$V_d$  – wartość obliczeniowa obciążania / design value of load [kN],

$R_d$  – wartość obliczeniowa oporu podłoża gruntowego / design value of vertical bearing resistance [kN],

OFS – globalny współczynnik bezpieczeństwa / overall factor of safety [-],

$\Lambda = V_d / R_d$  – współczynnik wykorzystania nośności / utilization factor [-],

DAk – obliczenia podejściami obliczeniowymi według Eurokodu 7 z wykorzystaniem wartości charakterystycznych obciążeń oraz parametrów geotechnicznych / calculations according to Eurocode 7 with use of characteristic values of loads and geotechnical parameters,

PNk – obliczenia według PN-81/B-03020 z wykorzystaniem wartości charakterystycznych obciążeń oraz parametrów geotechnicznych / calculations according to PN-81/B-03020 with use of characteristic values of loads and geotechnical parameters.



TABELA 3. Porównanie wyników obliczeń nośności podłoża dla wymiarów stopy fundamentowej  $B = L = 2,0$  m

TABLE 3. Comparison of vertical bearing resistance of soil for dimensions of pad footing  $B = L = 2,0$  m

Parametr Parameter	DA1(1)	DA1(2)	DA2	DA3	PN	DA <sub>k</sub>	PN <sub>k</sub>
$V_k$	1830	1830	1830	1830	1830	1830	1830
$R_k$	9112	3775	9112	3775	11026	9112	11026
$R_k / V_k$	5,09	2,11	5,09	2,11	6,16	5,09(OFS)	6,16(OFS)
$V_d$	2583	2055	2583	2583	2196	–	–
$R_d$	9112	3775	6509	3775	5222	–	–
$\Lambda$	0,28	0,54	0,40	0,68	0,42	–	–

Objaśnienia jak w tabeli 2. / Explanations in Table 2.

TABELA 4. Porównanie minimalnych wymiarów stóp fundamentowych ze względu na stan graniczny nośności

TABLE 4. Comparison of minimum pad footings dimensions according to ultimate limit states

Parametr Parameter	DA1(1)	DA1(2)	DA2	DA3	PN	DA <sub>k</sub>	PN <sub>k</sub>
	$B = L =$ $= 1,2$ m	$B = L =$ $= 1,55$ m	$B = L =$ $= 1,35$ m	$B = L =$ $= 1,7$ m	$B = L =$ $= 1,35$ m	$B = L =$ $= 1,05$ m	$B = L =$ $= 0,9$ m
$V_k$	1779	1798	1789	1808	1789	1772	1766
$R_k$	2686	2061	3841	2562	2413	1972	1864
$R_k / V_k$	1,51	1,14	2,14	1,42	1,35	1,11(OFS)	1,05(OFS)
$V_d$	2514	2023	2524	2528	2147	–	–
$R_d$	2687	2061	2529	2562	2173	–	–
$\Lambda$	0,94	0,98	0,99	0,99	0,99	–	–

Objaśnienia jak w tabeli 2. / Explanations in Table 2.

Obliczenia dla wymiarów stopy fundamentowej  $B = L = 2,0$  m wskazują na wyniki znacznie odbiegające od pełnego wykorzystania nośności podłoża (tab. 3). W przypadku podejścia DA2 konieczne było doprowadzenie współczynnika wykorzystania nośności do wartości  $\Lambda = 0,4$ . Zapewnienie tego samego poziomu wykorzystania nośności w przypadku różnych podejść projektowych daje różne wymiary stopy fundamentowej (tab. 4). Analizując minimalne wymiary fundamentu niepowodujące przekroczenie stanu granicznego nośności (wartość współczynnika wykorzystania nośności

$\Lambda \approx 1,0$ ), otrzymano:  $B = L = 1,2-1,7$  m w zależności od podejścia projektowego według Eurokodu 7 oraz  $B = L = 1,35$  m według PN-81/B-03020 (tab. 4).

## Wnioski

1. Minimalne wymiary stopy fundamentowej ze względu na warunek stanu granicznego nośności przy zastosowaniu podejścia projektowego DA2 oszacowano na  $B = L = 1,4$  m. Najbliższy zapas bezpieczeństwa dla powyższych wymiarów uzyskano,



- stosując obliczenia według PN-81/B-03020. Podejścia DA1(2), DA3 wskazują na przekroczenie stanu granicznego nośności (tab. 2). Podejście DA2 oraz obliczenia według PN-81/B-03020 dostarczają odmiennych wartości  $R_k/V_{k\gamma}$ , jednak zastosowanie współczynników częściowych powoduje, że wartość współczynnika wykorzystania nośności jest bardzo zbliżona  $\Lambda = 0,91-0,92$  (tab. 2).
2. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń szacuje się, iż wymiary stopy fundamentowej zapewniające nieprzekroczenie stanu granicznego nośności oraz użyteczności przy zastosowaniu podejścia projektowego DA2, wynoszą  $B = L = 2,0$  m.
  3. Przeprowadzając obliczenia z wykorzystaniem charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych oraz obciążeń, uzyskano następujące minimalne wymiary stóp niepowodujące przekroczenie stanu granicznego nośności:  $B = L = 1,05$  m dla podejść projektowych według Eurokodu 7,  $B = L = 0,9$  m dla obliczeń według PN-81/B-03020 (tab. 4). Uwzględnienie współczynników częściowych powoduje wzrost wymiaru podstawy fundamentu o  $\Delta B = 0,15-0,65$  m (14–60% w stosunku do  $B = L = 1,05$  m) przy zastosowaniu podejść projektowych według Eurokodu 7 oraz  $\Delta B = 0,45$  m (50% w stosunku do  $B = L = 0,9$  m) według PN-81/B-03020.

## Literatura

- AYSEN A. 2002: Soil Mechanics. Basic Concepts and Engineering Applications. A.A. Balkema Publisher, Lisse, Abingdon, Exton (PA), Tokyo.
- BOND A., HARRIS A. 2008: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis Group, London, New York.
- CRAIG R.F. 2004: Craig's soil mechanics. Spon Press, Taylor & Francis Group, London, New York.
- FRANK R., BAUDIN C., DRISCOLL R., KAVVADAS M., KREBS OVESEN N., ORR T., SCHUPPENER B., 2004: Designers Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – General rules. Thomas Telford Publishing, London.
- GALAS P., KIZIEWICZ D. 2008: Analiza nośności podłoża wybranych stóp fundamentowych Centrum Wody SGGW w Warszawie według PN-81/B-03020 oraz Eurokodu 7. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura*, 7 (2): 23–38.
- GALAS P., KIZIEWICZ D. 2009: Ocena nośności podłoża pod stopą fundamentową według Eurokodu 7 oraz PN-81/B-03020. Red. E. Dembicki i inni. Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz: 575–582.
- KŁOSIŃSKI B., PIECZYRAK J. 2009: Norma EN 1997 Eurokod 7 „Projektowanie geotechniczne”. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3: 168–179.
- LECHOWICZ Z., RABARIJOELY S. 2003: Ocena osiadań fundamentów bezpośrednich posadowionych na prekonsolidowanych gruntach spoistych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3–4: 129–132.
- PIECZYRAK J. 2006: Nośność graniczna podłoża gruntowego według PN-81/B-03020 i Eurokodu 7. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Budownictwo* 28.
- PN-81/B-03020 Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-1:2004. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2007. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- SCHMERTMANN J.H., HARTMANN J.P., BROWN P.R. 1978: Improved strain influence factor diagrams. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division* 104 (GT8): 1131–1135.

SCHNEIDER H.R. 1999: Determination of characteristic soil properties. Proc. of the 12<sup>th</sup> ECSMGE, Amsterdam 1: 273–281.

VOGT N., SCHUPPENER B., WEISSENBACH A., GAJEWSKA B., KŁOSIŃSKI B. 2006. Podejścia obliczeniowe stosowane w Niemczech w projektowaniu geotechnicznym według Eurokodu 7-1. *Inżynieria i Budownictwo* 6.

WYSOKIŃSKI L. 2009: Wartości parametrów geotechnicznych w zastosowaniu do projektowania budowlanego wg PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 17–20 marca 2009 r., Wisła.

[www.eurocode7.com](http://www.eurocode7.com)

## Summary

**Bearing capacity and settlements analysis of cohesionless soils loaded by shallow foundation according to Eurocode 7 – so-**

**lution of 2.1 design example ETC10.** The paper presents calculations of ultimate limit states and serviceability limit states of shallow foundation based on dense sand. It refers to the set of 6 design examples provided by European Technical Committee (ETC10), which was established by the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Engineers and scientists were asked to supply their own solutions of the examples according to the rules of Eurocode 7. The paper presents the methodology and results of the first design example 2.1 „Pad foundation with central load on dense sand”.

### Author's address:

Paweł Galas

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Katedra Geoinżynierii

ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Poland

e-mail: [pawel\\_galas@sggw.pl](mailto:pawel_galas@sggw.pl)