

Dariusz KIZIEWICZ

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

Analiza nośności podłoża z gruntów spoistych obciążonego mimośrodowo fundamentem bezpośrednim według Eurokodu 7 – rozwiązanie przykładu 2.2 ETC 10

Bearing capacity analysis of cohesive soils subjected to inclined load from shallow foundation according to Eurocode 7 – solution of design example 2.2 ETC 10

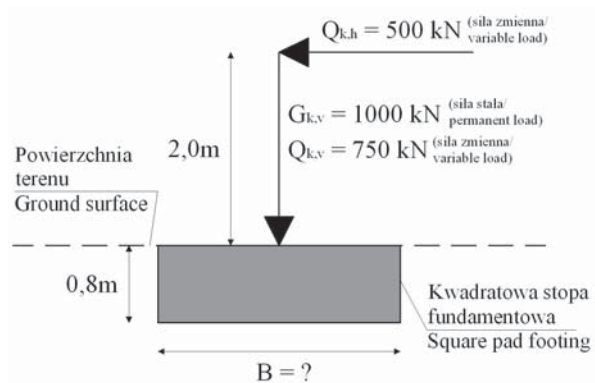
Słowa kluczowe: posadowienie bezpośrednie, stany graniczne, nośność podłoża gruntowego, prekonsolidowane grunty spoiste

Key words: pad foundation, limit states, bearing capacity, overconsolidated cohesive soils

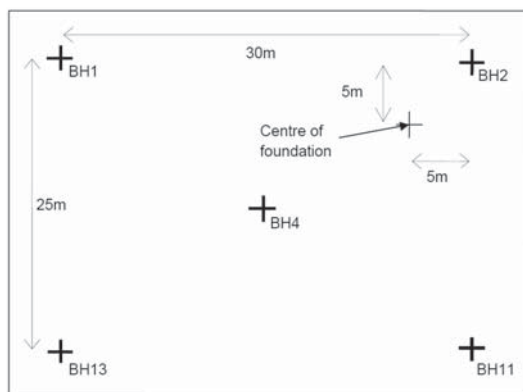
Wprowadzenie

Międzynarodowe Stowarzyszenie Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej (ISSMGE) ustanowiło Europejski Komitet Techniczny 10 (ETC 10), którego celem jest analiza i ocena procesu wdrażania zasad Eurokodu 7 do praktyki inżynierskiej państw europejskich. W ramach prac ETC 10 opracowano zestaw przykładów projektowych, które zostały udostępnione w Internecie, aby jak najszersza grupa osób związanych z geotechniką mogła je rozwiązać, opierając się na zasadach Eurokodu 7. Pierwszy zestaw przykładów opublikowany został w 2005 roku, natomiast wnioski

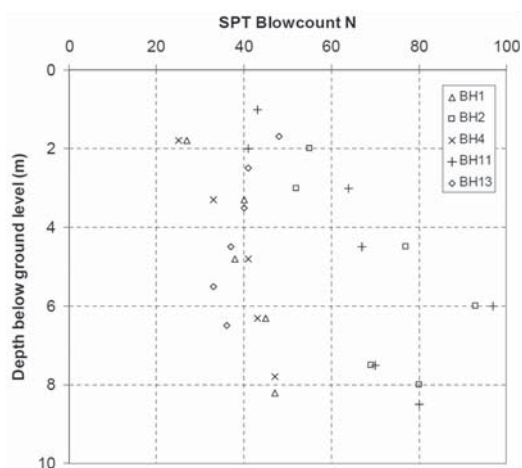
z nich wynikające zaprezentowane zostały podczas międzynarodowych warsztatów, które odbyły się na przełomie marca i kwietnia 2005 roku w Dublinie. W 2009 roku ukazał się drugi zestaw przykładów, składający się z 6 zadań. Analizowany w artykule przykład 2.2 dotyczy kwadratowej stopy fundamentowej, posadowionej w glinie zwałowej na głębokości 0,8 m poniżej powierzchni terenu. Na stopę, oprócz stałego i zmiennego obciążenia pionowego, 2 m powyżej górnej powierzchni stopy oddziałuje zmienna siła pozioma, która wywołuje mimośrodowość obciążenia. Schemat obciążeń oraz ich wartości pokazane są na rysunku 1. Dodatkowo w zadaniu podano lokalizację fundamentu oraz otworów wiertniczych, w których wykonano sondowania sondą cylindryczną SPT (rys. 2), wyniki sondowań SPT (rys. 3), rozkład wartości wskaźnika plastyczności i wilgotności naturalnej na głębokości oraz



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



RYSUNEK 2. Lokalizacja otworów wiertniczych względem środka fundamentu
 FIGURE 2. Localization of boreholes in respect to the centre of foundation



RYSUNEK 3. Wyniki sondowania SPT
 FIGURE 3. SPT sounding results

karty wszystkich otworów wiertniczych. Powyższe dane stanowiły komplet informacji, na podstawie których projektant powinien określić szerokość fundamentu zgodnie z zasadami Eurokodu 7.

Metodyka obliczeń

Ze względu na rodzaj posiadanych danych oraz fakt, iż w podłożu projektowanego fundamentu zalegał grunt spoisty, w przypadku sprawdzenia stanu granicznego nośności $V_d \leq R_d$ uwzględniono jedynie warunki bez odpływu. W tym celu posłużono się zależnością podaną w Eurokodzie 7 w postaci:

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

gdzie:

R – opór graniczny podłoża gruntowego [kN],

A' – zredukowana powierzchnia podstawy fundamentu $A' = L'B'$ [m²], gdzie $B' = B - 2e_B$ [m], $L' = L - 2e_L$ [m],

c_u – wytrzymałość na ścinanie gruntu bez odpływu [kPa],

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'} - \text{współczynnik kształtu}$$

fundamentu [-],

b_c – współczynnik nachylenia podstawy fundamentu [-],

$$i_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{Q_h}{A' \cdot c_u}} \right) - \text{współczynnik}$$

nachylenia obciążenia [-],

q – nacisk od nadkładu warstw leżących powyżej podstawy fundamentu [kPa].

Jedynym nieznanym parametrem powyższego równania była wytrzymałość na ścinanie bez odpływu. Wartość

tę należało wyznaczyć, posługując się dostępnymi danymi. W praktyce sondowania SPT wykonuje się zazwyczaj w gruntach niespoistych i w większości pozycji literaturowych podawane zależności odnoszą się właśnie do tych gruntów. Nawet Eurokod 7. Część 2 nie wspomina nic na temat gruntów spoistych.

W przedstawionym rozwiązaniu zastosowano prostą zależność empiryczną podaną przez Sivrikaya i Togrola (2006) w postaci:

$$c_u = 4,75 N_{30(\text{field})}$$

gdzie $N_{30(\text{field})}$ – liczba uderzeń z sondowania SPT pomierzona bezpośrednio w terenie [-].

W celu wyznaczenia charakterystycznej wartości wytrzymałości na ścinanie bez odpływu (c_{uk}) posłużono się wynikami sondowania SPT ze wszystkich otworów wiertniczych, jednakże stosując różne wagi w zależności od odległości otworu od środka fundamentu. Jako wagę przyjęto stosunek odległości otworu leżącego najbliżej środka fundamentu do odległości rozpatrywanego otworu. Dodatkowo przyjęto, iż objętość gruntu zmobilizowana przy potencjalnym zniszczeniu nie będzie sięgać głębiej niż około B m poniżej poziomu posadowienia. Do obliczeń przyjęto jedynie te wyniki sondowań SPT, które wykonane zostały powyżej tej głębokości, przy czym w obliczeniach założono szerokość fundamentu równą 3,1 m. W tabeli 1 zestawiono wyniki sondowań wykorzystanych przy wyznaczeniu wartości c_u wraz z wagami i obliczonymi lokalnymi wartościami wytrzymałości na ścinanie bez odpływu.

TABELA 1. Wyniki sondowań SPT użytych w obliczeniach charakterystycznej wartości wytrzymałości na ścianie bez odpływu

TABLE 1. SPT sounding results used in calculations of characteristic value of undrained shear strength

Otwór wiertniczy Borehole	Głębokość [m] Depth	$N_{30(\text{field})}$ [-]	Waga w [-] Weight factor	$c_u = 4,75N_{30(\text{field})}$ [kPa]
BH1	1,8	27	0,25	128,25
	3,3	40		190
BH2	2	55	1,00	261,25
	3	52		247
BH4	1,8	25	0,52	118,75
	3,3	33		156,75
BH11	1	43	0,38	204,25
	2	41		194,75
	3	64		304
BH13	1,7	48	0,21	228
	2,5	41		194,75
	3,5	40		190

W przypadku stopy fundamentowej objętość gruntu, biorąca udział w wystąpieniu stanu granicznego, jest duża, dlatego też wyniki badań polowych powinny zostać uśrednione dla całej tej objętości, jako że na skutek redystrybucji naprężeń w masie gruntowej wartość parametru geotechnicznego, rządząca wystąpieniem stanu granicznego, jest bliska wartości średniej. Reprezentatywna wartość charakterystyczna wytrzymałości na ścinanie bez odpływu (c_{uk}) wyznaczona została metodami statystycznymi. Wartość tę określono tak, aby obliczone prawdopodobieństwo wystąpienia mniej korzystnej wartości, decydującej o powstaniu rozpatrywanego stanu granicznego, nie było większe niż 5%. W ten sposób ostrożne oszacowanie wartości średniej polegało na ustaleniu wartości średniej z ograniczonego zbioru wartości parametrów geotechnicznych, z po-

ziomem ufności 95%. W obliczeniach zastosowano poniższe wzory (Frank i in. 2004, <http://aga.riders.pl>):

$$- c_{uk} = c_{u \text{ mean}} \cdot (1 - k_n V_{cu}) \quad (3)$$

gdzie:

$c_{u, \text{ mean}} = \sum c_{ui} \cdot w_i / \sum w_i$ – średnia ważona [kPa],

V_{cu} – współczynnik zmienności [-],

k_n – współczynnik zależny od liczby wyników badań, objętości gruntu biorącej udział w wystąpieniu stanu granicznego, typu próbek i założonego poziomu ufności [-],

w_i – waga [-];

$$- V_{cu} = s_{cu} / c_{u \text{ mean}} \quad (4)$$

gdzie:

s_{cu} – odchylenie standardowe [kPa].

$$s_{cu} = \sqrt{\frac{N}{N-1} \cdot \frac{\sum w_i \cdot (c_{ui} - c_{u \text{ mean}})^2}{\sum w_i}}$$

TABELA 2. Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa dla podejścia DA2*
 TABLE 2. Values of partial factors of safety for DA2* approach

Oddziaływanie trwale niekorzystne / Permanent unfavourable action	γ_G	1,35
Oddziaływanie zmienne niekorzystne / Variable unfavourable action	γ_Q	1,5
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu / Undrained shear strength	γ_{cu}	1
Opór gruntowy / Soil resistance	γ_R	1,4

Ostatecznie jako charakterystyczną wartość wytrzymałości na ścinanie bez odpływu przyjęto wartość 180,98 kPa.

W celu rozwiązania przykładu przyjęto wartości współczynników częściowych zgodnie z podejściem obliczeniowym DA2*, przedstawione w tabeli 2.

Podejście DA2* odróżnia się od podejścia DA2 tym, że w jego przypadku współczynniki częściowe stosowane są na końcu obliczeń, stąd też wartość charakterystyczną nośności podłoża określa się, używając wartości charakterystycznych skutków oddziaływań na podstawie fundamentu. W przypadku obciążenia mimośrodowego sprawdzając stan graniczny nośności, stosuje się więc charakterystyczną wartość mimośrodu obciążenia (Vogt i in. 2006).

Ostatecznie współczynnik wykorzystania nośności (Λ) wyniósł 0,63. Oznacza to, iż teoretycznie wymiar stopy mógłby być mniejszy, jednakże decydujący okazał się tutaj warunek, mówiący, iż wartość mimośrodu obciążenia nie może być większa od wartości $B/6$. W tym przypadku $e_B = 0,515 \text{ m} < B/6 = 0,516 \text{ m}$. Tak więc przyjęty wymiar stopy fundamentowej należało uznać za poprawny.

Druga część rozwiązania dotyczyła stanu granicznego użyteczności. W celu jego sprawdzenia osiadanie całkowite obliczono jako sumę osiadania natychmiastowego oraz osiadania wynikającego z konsolidacji podłoża grun-

towego. W przypadku osiadania natychmiastowego posłużono się uproszczoną metodą ośrodka sprężystego (Aysen 2002):

$$S_e = \mu_0 \mu_1 q B / E_u \quad (5)$$

gdzie:

S_e – osiadanie [mm],

μ_0 – współczynnik wpływu zależny od głębokości posadowienia [–],

μ_1 – współczynnik wpływu zależny od miąższości warstwy [–],

q – nacisk [kPa],

B – szerokość fundamentu [m],

E_u – moduł odkształcenia bez odpływu [MPa].

Wartość modułu odkształcenia bez odpływu wyznaczono, posługując się zależnością podaną przez Butlera (Schnaid 2009):

$$E_u / N_{60} = 1,0 - 1,2 \text{ (MPa)} \quad (6)$$

gdzie N_{60} – znormalizowana liczba uderzeń (przyjęto $E_u / N_{60} = 1,2 \text{ MPa}$) [–].

Znormalizowana wartość liczby uderzeń sondowania SPT (N_{60}) obliczona została z zależności (Sivrikaya i Togrol 2006):

$$N_{60} = 0,75 C_r N_{30(\text{field})} \quad (7)$$

gdzie C_r – współczynnik korekcyjny długości żerdzi (przyjęto $C_r = 1,0$) [–].

W przypadku tym należało więc wyznaczyć reprezentatywną liczbę uderzeń sondowania SPT pomierzoną bezpośrednio w terenie. W tym celu zastosowano

metody statystyczne jak w przypadku sprawdzania stanu granicznego nośności. W obliczeniach użyte zostały wyniki sondowań wykonanych do głębokości $2B$ m poniżej poziomu posadowienia, gdyż przyjęto, że jedynie do tej głębokości występują znaczące osiadania. W efekcie jako reprezentatywną liczbę uderzeń z sondowania SPT przyjęto 47 uderzeń. W przypadku sprawdzania stanu granicznego użyteczności zalecane jest stosowanie charakterystycznych wartości obciążeń, stąd do obliczenia nacisku generowanego przez fundament użyte zostały takie właśnie wartości. Ostatecznie wartość osiadania natychmiastowego oszacowano na 7 mm.

Osiadania konsolidacyjne natomiast obliczono, posługując się wzorem znanym z polskiej normy, dotyczącej posadowienia bezpośredniego PN-81/B-03020:

$$s_c = (\Delta\sigma \cdot \Delta h) / M \quad (8)$$

gdzie:

$\Delta\sigma$ – przyrost naprężenia [kPa],

Δh – miąższość warstwy obliczeniowej [m],

M – moduł ścisłości wtórnej dla gruntów silnie prekonsolidowanych [kPa].

Podłoże gruntowe podzielone zostało na warstwy obliczeniowe, przy czym przyrost naprężenia wywołany przyłożonym obciążeniem zewnętrznym w każdej z tych warstw wyznaczony został z metody punktów środkowych. Całkowite osiadanie obliczono jako sumę osiadania poszczególnych warstw obliczeniowych. W celu wyznaczenia modułów ścisłości każdej z warstw posłużono się zależnością podaną przez Strouda (1974), pozwalającą na wyznaczenie współczynni-

ka zmian objętości gruntu, który stanowi odwrotność modułu ścisłości:

$$m_v = 1/f_2 \cdot N \text{ [m}^2 \cdot \text{MN}^{-1}\text{]}$$

gdzie f_2 – współczynnik zależny od wskaźnika plastyczności [-].

Wartościami niezbędnymi do wyznaczenia były reprezentatywne wartości liczb uderzeń z sondowania SPT dla każdej z warstw obliczeniowych oraz reprezentatywna wartość wskaźnika plastyczności. Wartości N określono analogicznie jak w przypadku obliczania osiadania natychmiastowego, przy czym uwzględniano jedynie te wyniki sondowań, które znajdowały się w obrębie rozpatrywanej warstwy obliczeniowej. Wartość wskaźnika plastyczności oszacowano metodami statystycznymi na poziomie 9,94%. Ostatecznie obliczone osiadania konsolidacyjne wyniosły 16 mm, a tym samym osiadania całkowite – 23 mm, przy wymiarach fundamentu $B = L = 3,1$ m.

Analiza wyników obliczeń

Obliczenia zgodne z podejściem obliczeniowym DA2* stanowiły zasadnicze rozwiązanie omawianego przykładu. Dodatkowo wykonane zostały obliczenia dla pozostałych podejść obliczeniowych, zgodnie ze wzorem opisanym powyżej. Tabela 3 przedstawia wartości współczynników częściowych właściwych dla każdego z nich. Tabela 4 zawiera wyniki obliczeń uzupełnione o obliczenia zgodne z podejściem DA2* oraz bez zastosowania współczynników częściowych. Dodatkowo ostatnia kolumna podaje wyniki uzyskane przy zastosowaniu polskiej normy PN-81/B-03020. W przypadku tym przyjęto wartości współczynników

TABELA 3. Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa dla wszystkich podejść obliczeniowych

TABLE 3. Values of partial factors of safety for all design approaches

Wyszczególnienie Specification		DA1(1) A1+M1+R1	DA1(2) A2+M2+R1	DA2 A1+M1+R2	DA3 (A1 lub A2)+ +M2+R3
Oddziaływanie trwałe niekorzystne Permanent unfavourable action	γ_G	1,35	1,0	1,35	1,35
Oddziaływanie zmienne niekorzystne Variable unfavourable action	γ_Q	1,5	1,3	1,5	1,5
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu Undrained shear strength	γ_{cu}	1,0	1,25	1,0	1,25
Opór gruntowy / Soil resistance	γ_R	1,0	1,0	1,4	1,0

TABELA 4. Wyniki obliczeń

TABLE 4. Results of calculations

Wyszczególnienie Specification	DA1(1)	DA1(2)	DA2	DA2*	DA3	DA _k	PN	PN _k
B	3,3 (2,75)	3,6 (2,85)	3,3 (2,9)	3,1 (2,7)	3,3 (2,95)	3,1 (2,35)	3,6 (2,55)	3,1 (2,1)
V_k	1967,8	2009,2	1967,8	1942,2	1967,8	1942,2	2009,2	1942,2
R_k	6579,3	6483,5	6579,3	6050,4	4915,2	6050,4	7254,7	5982,1
R_k/V_k	3,34	3,23	3,34	3,12	2,50	3,12 (OFS)	3,61	3,08 (OFS)
V_d	2769,0	2234,2	2769,0	2734,5	2769,0	–	2411,0	–
R_d	6579,3	6483,5	4699,5	4321,7	4915,2	–	6529,2	–
Λ	0,42 (0,88)	0,35 (0,9)	0,59 (0,95)	0,63 (0,98)	0,56 (0,95)	0,32 (0,92)	0,37 (0,96)	0,33 (0,96)

Objaśnienia / Explanations:

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

DA_k – obliczenia na charakterystycznych wartościach danych / calculations with characteristic values of data,

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

PN_k – obliczenia na charakterystycznych wartościach danych / calculations with characteristic values of data,

B – szerokość fundamentu / width of foundation [m],

V_k – charakterystyczna wartość obciążenia / characteristic value of force [kN],

R_k – charakterystyczna wartość oporu podłoża gruntowego uzależniona od wartości współczynników częściowych dla parametrów gruntowych / characteristic value of soil resistance dependent on values of partial factors for soil parameters [kN],

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

V_d – obliczeniowa wartość obciążenia / design value of force [kN],

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

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

$i_c = 0,83$ i $i_D = 1,0$. W każdym z tych obliczeń celem było wyznaczenie wymiaru stopy fundamentowej, który spełniałby warunek nośności i jednocześnie warunek, mówiący o tym, aby wypadkowa siła nie wykraczała poza rdzeń przekroju podstawy fundamentu. Wartości w nawiasach to wielkości uzyskane przy nieuwzględnianiu warunku ograniczającego wartość mimośrodowość obciążenia. Tabela 5 przedstawia wyniki obliczeń dla przypadków jak powyżej, oprócz normy polskiej, przy przyjęciu wymiarów stopy fundamentowej $B = L = 3,1$ m. Oczywiście jest, że w każdym innym przypadku, poza DA2* i obliczeniami na charakterystycznych wartościach danych, nie będzie spełniony warunek $e_B \leq B/6$, jako że w obu tych przypadkach uzyskano najmniejszy wymagany wymiar fundamentu.

Analizie poddane zostały jedynie wyniki stanu granicznego nośności, jako że w przypadku stanu granicznego użytkowności w obliczeniach używane są wartości charakterystyczne oddziaływań, parametrów gruntowych i oporu podłoża, w związku z czym powstające

różnice obliczonych osiadań wynikałyby jedynie ze zmiany głębokości, do której byłyby one rozpatrywane, czyli do głębokości $2B$ poniżej poziomu posadowienia. Pomimo tego w celu przedstawienia całości przykładu w części dotyczącej metodyki obliczeń przedstawiony został również tok postępowania przy sprawdzaniu stanu granicznego użytkowności.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż we wszystkich przypadkach o przyjętej wartości szerokości stopy fundamentowej decydował znany z polskiej normy warunek, mówiący, że mimośród obciążenia nie powinien wykraczać poza rdzeń przekroju podstawy fundamentu. W przypadku Eurokodu 7 nie ma takiego zapisu. Gdy mimośród obciążenia jest większy od wartości $1/3$ szerokości podstawy fundamentu zalecane są szczególne środki ostrożności, polegające na dokładnym sprawdzeniu obliczeniowych wartości oddziaływań oraz uwzględnieniu wielkości odchyłek wykonawczych. Jednakże zdaje się, iż w przypadku polskiego załącznika krajowego zapis znany z normy polskiej zostanie utrzymany.

TABELA 5. Wyniki obliczeń według każdego z podejść przy założeniu $B = 3,1$ m
TABLE 5. Results of calculations according to all approaches assuming that $B = 3,1$ m

Wyszczególnienie Specification	DA1(1)	DA1(2)	DA2	DA2*	DA3	DA _k
V_k	1942,2	1942,2	1942,2	1942,2	1942,2	1942,2
R_k	5249,6	3762,9	5249,6	6050,4	3778,3	6050,4
R_k/V_k	2,70	1,94	2,70	3,12	1,95	3,12(OFS)
V_d	2734,5	2167,2	2734,5	2734,5	2734,5	–
R_d	5249,6	3762,9	3749,7	4321,7	3778,3	–
Λ	0,52	0,58	0,73	0,63	0,72	0,32

Objaśnienia jak wyżej. / Explanations as above.

Podsumowanie

1. Uzyskane szerokości fundamentów sugerują, iż podejście DA2* jest podejściem o najmniejszym zapasie bezpieczeństwa, a podejście DA1(2) o największym, który przejawia się największą szerokością fundamentu. Może tym właśnie sugerują się niemieccy geotechnicy, forsując podejście DA2* jako obowiązujące przy obliczeniach związanych z posadowieniem bezpośrednim.
2. Podejście DA1(2) jest jednocześnie podejściem najbardziej wrażliwym na ograniczenie wartości mimośrodowość obciążenia. Zastosowanie warunku $e_B < B/6$ powoduje zwiększenie szerokości fundamentu o 26%, podczas gdy w przypadku DA3 – jedynie o 12%.
3. Obliczenia według DA1(2) dają wyniki najbardziej zbliżone do wyników uzyskanych przy zastosowaniu normy PN-81/B-03020. W obu przypadkach uzyskano szerokość fundamentu równą 3,6 m. Wyniki wskazują na ogólnie mniej konserwatywny charakter Eurokodu 7, jako że w przypadku czterech podejść na pięć uzyskano mniejsze szerokości fundamentu niż w przypadku normy polskiej.
4. Ogólny charakter każdego z podejść pokazuje tabela 5, w której wartości współczynników wykorzystania nośności można ze sobą bezpośrednio porównywać, jako że wyznaczone zostały dla jednakowych wymiarów fundamentu. W przypadku tym wartości współczynnika Λ , czego można było się spodziewać, odpowiednio wzrosły. Pominięcie warunku ogra-

niczającego wartość mimośrodu obciążenia wpływa na proporcje między poszczególnymi podejściami. W przypadku podejścia DA1(1) uzyskuje się zapas bezpieczeństwa najbliższy temu, który dają obliczenia bez zastosowania współczynników częściowych, natomiast w przypadku podejścia DA2 zapas bezpieczeństwa jest największy.

5. Powyższe obliczenia pokazują, iż być może zróżnicowanie podejść obliczeniowych powinno mieć miejsce nie tylko między różnymi typami konstrukcji, ale również w obrębie jednego rodzaju obiektu budowlanego, w zależności od schematu obciążenia. Należy jednak pamiętać, iż powyższy przypadek odnosi się jedynie do obliczeń w warunkach bez odpływu. Wspomniany wyżej postulat powinien zostać zweryfikowany bardziej szczegółową analizą popartą odpowiednią liczbą obliczeń.

Bardziej szczegółowych wniosków i analiz dotyczących omawianego przykładu, jak również pozostałych należy się spodziewać podczas 2. Międzynarodowych Warsztatów, które odbędą się w Pawii, we Włoszech, w dniach 12–14 kwietnia 2010 roku.

Literatura

- AYSENA. 2002: Soil Mechanics: Basic Concepts and Improvements. A.A Balkema Publisher, Lisse, Abingdon, Exton (PA), Tokyo.
- BOND A., HARRIS A. 2008: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis Group, London, New York.
- CHRISTIAN J.T., CARRIER W.D. 1978: Janbu, Bjerrum, and Kjaernsli's chart reinterpreted. *Canadian Geotechnical Journal* 15 (1).

- 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 (Budownictwo)* 7(2): s. 23–38.
- KŁOSIŃSKI B., PIECZYRAK J. 2009: Norma EN 1997 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3: 168–180.
- LECHOWICZ Z., RABARIJOELY S. 2003: Ocena osiadań fundamentów bezpośrednich posadowionych na prekonsolidowanych gruntach spoistych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3–4: 129–132.
- PN-81/B-03020 Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2. Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego.
- SCHNAID F. 2009: In Situ Testing in Geomechanics. The main tests. Taylor & Francis, London, New York.
- SIVRIKAYA O., TOGROL E. 2006: Determination of undrained strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey. *Engineering Geology* 86: 52–69.
- STROUD M.A. 1974: The standard penetration test in insensitive clays and soft rock. Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, 2(2): 367–375.
- 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: 326–330.
- WYSOKIŃSKI L. 2009: Wartości parametrów geotechnicznych w zastosowaniu do projektowania budowlanego wg PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2. XXIV Ogólnopolskie War-

sztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, 17–20 marca 2009 r., Wisła.
www.eurocode7.com

Summary

Bearing capacity analysis of cohesive soils subjected to inclined load from shallow foundation according to Eurocode 7 – solution of design example 2.2 ETC 10.

International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering have established European Technical Committee 10 (ETC 10) which main issue is an analysis and evaluation of implementation of Eurocode 7 rules into European countries engineering practice. During the works of ETC 10 a set of design examples was worked out, which was subsequently released in internet so as wider range of geotechnical engineers could solve them obeying the rules of Eurocode 7. The first set of these examples was published in 2005. Results and analysis of it were later shown during International Workshop in Dublin in 2005. In 2009 a second set of design examples was released. It consisted of six examples. Considered in article example 2.2 concerns a square pad footing with inclined load on boulder clay. This work shows proposition of solving this task and gives the results of it obtained with application of partial factors for all design approaches according to Eurocode 7 as well as results obtained using characteristic values of actions, soil parameters and soil resistance. Additionally calculations with use of polish standard PN-81/B-03020 were made.

Author's address:

Dariusz Kiziewicz
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: dariusz_kiziewicz@sggw.pl