

OCENA NOŚNOŚCI PODŁOŻA W WARUNKACH BEZ ODPŁYWU POD STOPĄ FUNDAMENTOWĄ OBCIĄŻONĄ MIMOŚRODOWO WEDŁUG EUROKODU 7¹

Zbigniew Lechowicz, Dariusz Kiziewicz, Grzegorz Wrzesiński
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę nośności w warunkach bez odpływu podłoża zbudowanego z prekonsolidowanych gruntów spoistych pod kwadratową stopą fundamentową obciążoną mimośrodowo. Obliczenia wykonano dla trzech przypadków mimośrodowego obciążenia stopy fundamentowej poddanej stałemu oddziaływaniu składową pionową przy wartościach mimośrodków $e = 0$, $e = 1/12B$ oraz $e = 1/6B$. Obliczenia numeryczne zostały wykonane metodą elementów skończonych w programie Plaxis, w warunkach płaskiego stanu odkształcenia, wykorzystując wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych, oddziaływań i oporu. Obliczenia porównawcze, zgodnie z Eurokodem 7 oraz normą PN-81/B-03020, wykonano przy użyciu wartości charakterystycznych oraz obliczeniowych parametrów, uwzględniając częściowe współczynniki bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: posadowienie bezpośrednie, nośność podłoża, Eurokod 7, stany graniczne

WSTĘP

Wprowadzenie Eurokodu 7 do polskiego zbioru obowiązujących norm wymaga poznania nowej metodyki doboru parametrów geotechnicznych oraz zasad projektowania konstrukcji geotechnicznych. Normy PN-EN 1997-1 oraz PN-EN 1997-2 nie określają precyzyjnie algorytmu obliczeń, lecz narzucają kryteria, które należy sprawdzić obliczeniowo podczas projektowania konstrukcji. Dokumenty wymagają od projektantów wykazania, że w wyniku oddziaływań nie zostaną przekroczone obowiązujące stany graniczne dla danych konstrukcji geotechnicznych.

Eurokod 7 zaleca wprowadzenie częściowych współczynników bezpieczeństwa przyjmowanych do parametrów gruntowych, oddziaływań oraz oporu. Ich dobór nastąpił w drodze procesów kalibracji. Ostatecznie wartości te poddano jednak wielu przekształ-

¹Praca wykonana w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki nr N N506 218039.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Zbigniew Lechowicz, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: zbigniew_lechowicz@sggw.pl

ceniom, uśrednieniom i krajowym uzgodnieniom [Brząkała 2013]. W rezultacie otrzymano trzy podstawowe podejścia obliczeniowe (DA1, DA2 i DA3), w których wyróżniono również kombinacje współczynników częściowych.

W przypadku projektowania fundamentów bezpośrednich Eurokod 7 zaleca stosowanie jednego z podejść obliczeniowych: DA1(C1), DA1(C2), DA2, DA3(C1) lub DA3(C2) [Frank i in. 2004, Bond i Harris 2008]. W Polsce w projektowaniu posadowień bezpośrednich podejściu obliczeniowemu DA2* nadano status obowiązującego [Wysokiński i in. 2011]. Podejście to różni się w stosunku do 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 mimośrodowo obciążenia [Vogt i in. 2006]. Ma to znaczenie, gdy w schemacie obliczeniowym występuje oddziaływanie zmienne ze względu na różne wartości współczynników częściowych dla oddziaływań stałych i zmiennych.

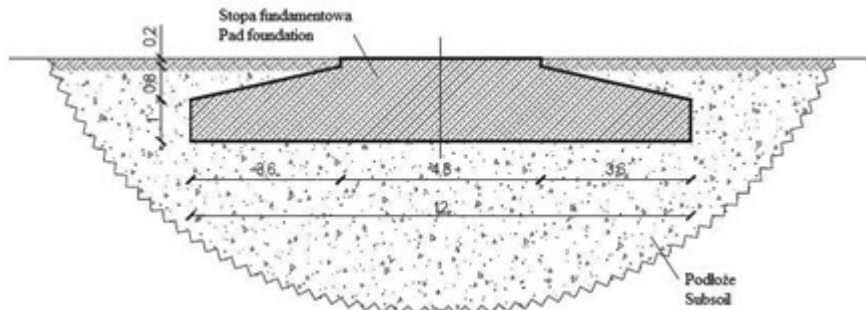
Do analizy złożonych problemów geotechnicznych, w tym posadowień bezpośrednich, w coraz większym stopniu używane są programy numeryczne. Zaawansowane programy obliczeniowe, wykorzystujące modele gruntowe, pozwalają na wierniejsze odwzorowanie zachowania się podłoża gruntowego i konstrukcji. Wprowadzenie Eurokodu 7 powoduje wiele problemów obliczeniowych, gdyż nie istnieją jasno określone reguły pokazujące, w którym miejscu i w jaki sposób zastosować częściowe współczynniki bezpieczeństwa [Potts i Zdravkovic 2012]. W rezultacie obliczenia często prowadzone są na wartościach charakterystycznych parametrów gruntowych, oddziaływań i oporu, bez częściowych współczynników bezpieczeństwa.

W artykule, zgodnie z Eurokodem 7, poddano analizie nośność podłoża w warunkach bez odpływu pod kwadratową stopą fundamentową obciążoną mimośrodowo składową pionową. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych w programie numerycznym Plaxis na wartościach charakterystycznych parametrów. Otrzymane wyniki porównano z wynikami obliczeń przeprowadzonych, zgodnie z Eurokodem 7, na wartościach charakterystycznych i obliczeniowych, uwzględniających częściowe współczynniki bezpieczeństwa, oraz z dotychczasową normą PN-81/B-03020.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEGO PRZYPADKU OBLICZENIOWEGO

Analizę przeprowadzono dla kwadratowej stopy fundamentowej o wymiarach 12×12 m i zmiennej wysokości przekroju poprzecznego. W obliczeniach założono, że fundament posadowiony jest na głębokości 2 m poniżej powierzchni terenu oraz zwierciadło wody gruntowej nie występuje do głębokości 10 m. Geometrię oraz poziom posadowienia przyjętego do obliczeń fundamentu przedstawiono na rysunku 1.

Obliczenia zostały wykonane przy założeniu, że w warstwie obliczeniowej znajduje się jednorodny prekonsolidowany grunt spoisty o współczynniku prekonsolidacji $OCR = 8$ oraz rozpatrzono przypadek, że w podłożu występują warunki bez odpływu. Parametry geotechniczne podłoża gruntowego oraz materiału, z którego wykonana jest stopa fundamentowa, zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Geometria fundamentu [Kiziewicz 2012]
 Fig. 1. Geometry of foundation [Kiziewicz 2012]

Tabela 1. Parametry podłoża gruntowego oraz materiału stopy fundamentowej
 Table 1. Parameters of subsoil and pad foundation material

Parametr Parameter	Wartość Value
Podłoże gruntowe – Subsoil	
Ciężar objętościowy	22,0 kN·m ⁻³
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu	140,0 kPa
Stopa fundamentowa – Pad foundation	
Ciężar objętościowy	25,0 kN·m ⁻³

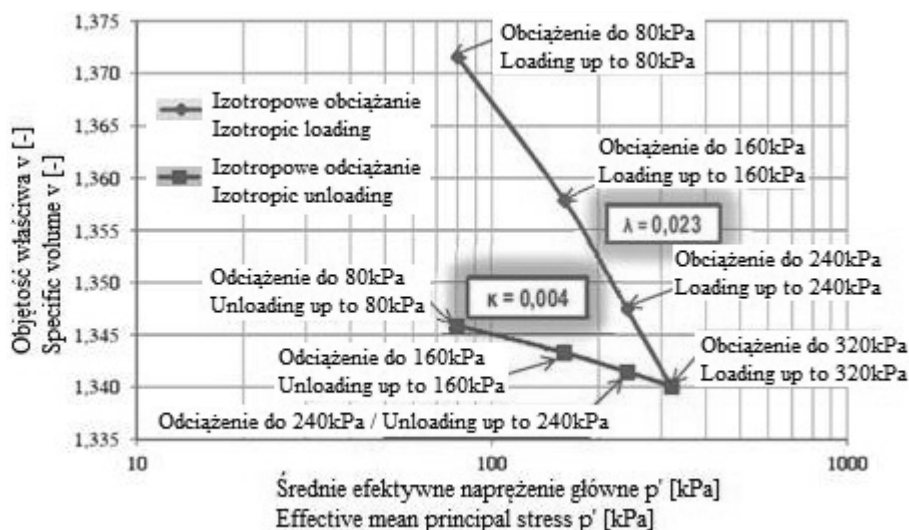
W obliczeniach nośności podłoża, zgodnie z Eurokodem 7 oraz normą PN-81/B-03020, wykorzystano średnią wartość wytrzymałości na ścinanie bez odpływu, wynoszącą 140 kPa. Wartość ta została określona z uwzględnieniem różnych mechanizmów zniszczenia podłoża gruntowego pod stopą fundamentową na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Badania laboratoryjne przeprowadzone w cylindrycznym aparacie skrętnym wykazały, że wytrzymałość na ścinanie bez odpływu przy kącie obrotu kierunków naprężeń głównych $\alpha = 0^\circ$ (odpowiadającym badaniu trójosiowym przy ściskaniu) wynosi 176 kPa. W badaniach przeprowadzonych przy kącie $\alpha = 45^\circ$ (odpowiadającym badaniu prostego ścinania) otrzymano wartość 113 kPa, a w badaniach przy kącie $\alpha = 90^\circ$ (odpowiadającym badaniu trójosiowym przy wydłużaniu) wartość ta wyniosła 85 kPa. Wartość średnią wytrzymałości na ścinanie bez odpływu określono jako procentowy udział poszczególnych stref charakteryzujących się różnymi mechanizmami zniszczenia spowodowanymi zmianą kierunków naprężeń głównych. Dla stref charakteryzujących się mechanizmami zniszczenia odpowiadającymi badaniu trójosiowemu przy ściskaniu oraz przy wydłużaniu przyjęto po 40% potencjalnej powierzchni zniszczenia, a dla strefy obserwowanej w badaniu prostego ścinania – 20% [Kiziewicz 2012].

W artykule przeanalizowano trzy przypadki mimośrodowego obciążenia stopy fundamentowej poddanej stałemu oddziaływaniu składową pionową przy wartościach mimośrodków: $e = 0$, $e = 1/12B$ oraz $e = 1/6B$.

OBLICZENIA NUMERYCZNE

Obliczenia numeryczne zostały przeprowadzone w programie Plaxis 2D w wersji 9.02, w warunkach płaskiego stanu odkształcenia. Do opisu zachowania się gruntu przyjęto sprężysto-plastyczny model stanu krytycznego z izotropowym wzmocnieniem – zmodyfikowany model Cam-Clay, nazywany modelem MCC (*Modified Cam-Clay*). Zachowanie się materiału fundamentu opisane zostało natomiast modelem liniowo-sprężystym o parametrach właściwych dla betonu C16/20.

Parametry niezbędne do wykonania obliczeń numerycznych zostały wyznaczone na podstawie badań trójosiowych w Laboratorium Geotechnicznym Katedry Geoinżynierii SGGW w Warszawie [Kiziewicz 2012]. Nachylenie linii stanu krytycznego wyznaczono na podstawie badań trójosiowych typu CID, w których przypadku jako kryterium zniszczenia przyjęte zostało wystąpienie maksymalnej wartości dewiatora naprężenia. Wartość parametru opisującego nachylenie linii stanu krytycznego wynosi 1,3. Wyznaczenie wartości parametrów opisujących odkształcalność gruntu wymagało wykonania badania trójosiowego polegającego na izotropowym obciążaniu, a następnie na izotropowym odciążeniu próbki. Pozwoliło ono na określenie zależności wartości objętości właściwej (v) od średniej wartości efektywnego naprężenia głównego (p'), w którym to układzie osi zdefiniowane są nachylenia linii normalnej konsolidacji (λ) oraz nachylenie linii odprężenia – ponownego obciążenia (κ) – rysunek 2.



Rys. 2. Wyniki badań izotropowego obciążania i odciążania próbki [Kiziewicz 2012]

Fig. 2. Results of isotropic loading and unloading of sample [Kiziewicz 2012]

Do obliczeń przyjęto: wartość współczynnika Poissona $\nu_{ur} = 0,2$ oraz początkowy wskaźnik porowatości $e_{init} = 0,38$.

OBLICZENIA ZGODNIE Z EUROKODEM 7

Obliczenia analizowanych przypadków obciążenia stopy fundamentowej, zgodnie z Eurokodem 7, wykonano dla wszystkich podejść obliczeniowych. Obliczenia wykonano dla założonych wymiarów stopy fundamentowej, wykorzystując wartości charakterystyczne parametrów gruntowych oraz wartości obliczeniowe tych parametrów, czyli skorygowane o częściowe współczynniki bezpieczeństwa. Wartości charakterystyczne oznaczono symbolami z indeksem „*k*”, a wartości obliczeniowe – z indeksem „*d*”. Stany graniczne nośności dla poszczególnych podejść obliczeniowych sprawdzono zgodnie z załącznikiem D normy PN-EN 1997-1:2008.

Zgodnie z Eurokodem 7 stan graniczny nośności ULS (*Ultimate Limit States*) nie zostanie przekroczony, gdy zachowana będzie nierówność:

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

gdzie: V_d – wartość obliczeniowa obciążenia pionowego [kN],

R_d – wartość obliczeniowa oporu granicznego na wypieranie [kN].

Ze względu na przyjęte założenia projektowe w obliczeniach uwzględniono warunki bez odpływu. W tym celu posłużono się zależnością podaną w Eurokodemie 7 w postaci:

$$R \times (A')^{-1} = (\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot b_c \cdot i_c + q \quad (2)$$

gdzie: A' – zredukowana powierzchnia podstawy fundamentu [m],

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

s_c – współczynnik kształtu fundamentu [-],

b_c – współczynnik nachylenia podstawy fundamentu [-],

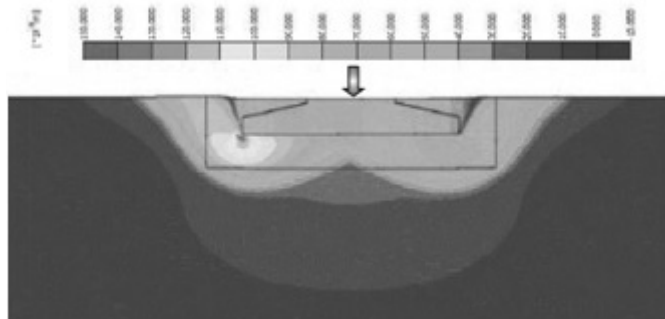
i_c – współczynnik nachylenia obciążenia [-],

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

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa do parametrów gruntowych, oddziaływań oraz oporu zostały przyjęte, zgodnie z Eurokodem 7 [PN-EN 1997-1:2008], do poszczególnych podejść obliczeniowych. W podejściu obliczeniowym DA1(1) w celu otrzymania obliczeniowej wartości oddziaływania stałego (traktowane w tym przypadku jako niekorzystne) przyjęto współczynnik równy 1,35, a wartość oporu podłoża wyznaczana jest na podstawie wartości charakterystycznych parametrów gruntowych. W przypadku podejścia DA1(2) przyjmowana jest charakterystyczna wartość oddziaływań trwałych, a wartość oporu podłoża obliczana jest na podstawie wartości obliczeniowej wytrzymałości na ścinanie bez odpływu. W celu jej uzyskania stosuje się współczynnik 1,4. W podejściu obliczeniowym DA2* oddziaływanie traktowane jest jako niekorzystne i w celu jego wyznaczenia należy zastosować współczynnik 1,35. Wartość oporu podłoża obliczana jest na podstawie wartości charakterystycznych parametrów gruntowych, ale otrzymaną wartość oporu należy w przypadku tego podejścia obliczeniowego podzielić przez współczynnik 1,4, uzyskując tym samym wartość obliczeniową. Podejście obliczeniowe DA3 zakłada oddziaływanie jako niekorzystne i należy zastosować współczynnik 1,35 w celu wyznaczenia wartości obliczeniowej stałego oddziaływania. Wartość oporu podłoża obliczana jest w tym przypadku na podstawie wartości obliczeniowej wytrzymałości na ścinanie bez odpływu poprzez zastosowanie współczynnika równego 1,4.

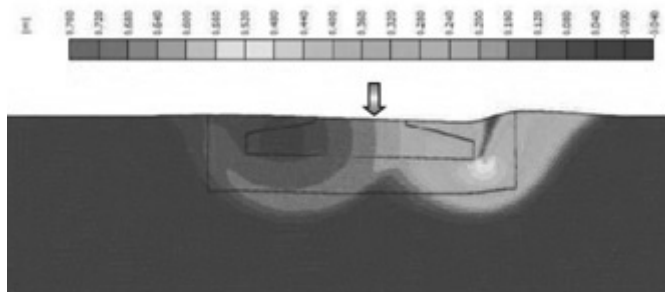
PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ

Obliczenia numeryczne przeprowadzone w programie Plaxis pozwoliły wyznaczyć graniczne obciążenia, przy których osiągnięty zostanie stan graniczny nośności przy zadanych wartościach mimośrodu obciążenia. Dla mimośrodu $e = 0$ graniczne obciążenie wyniosło $9260 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, dla $e = 1/12B$ miało wartość $7870 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, a dla mimośrodu $e = 1/6B$ równe było $7080 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Izopola przemieszczeń całkowitych dla granicznych obciążeń przy zadanych wartościach mimośrodu przedstawiają rysunki 3, 4 oraz 5.



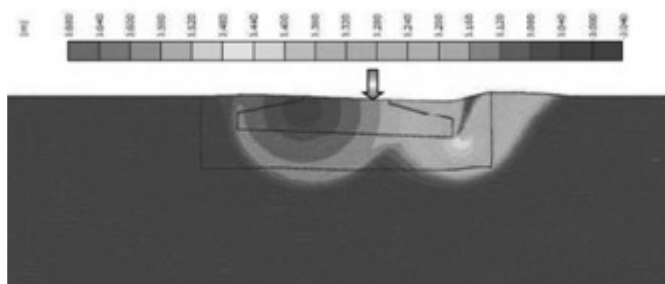
Rys. 3. Izopola przemieszczeń całkowitych dla $e = 0$ [Kiziewicz 2012]*

Fig. 3. Total deformations for $e = 0$ [Kiziewicz 2012]



Rys. 4. Izopola przemieszczeń całkowitych dla $e = 1/12B$ [Kiziewicz 2012]*

Fig. 4. Total deformations for $e = 1/12B$ [Kiziewicz 2012]



Rys. 5. Izopola przemieszczeń całkowitych dla $e = 1/6B$ [Kiziewicz 2012]*

Fig. 5. Total deformations for $e = 1/6B$ [Kiziewicz 2012]

*Rys. 3–5 w kolorze na wkładce po stronie 184.

Wyniki obliczeń, przeprowadzonych zgodnie z Eurokodem 7 dla tych samych wymiarów stopy fundamentowej oraz obciążeń z zastosowaniem wartości charakterystycznych parametrów gruntowych, oddziaływań i oporu, zestawiono w tabeli 2. Warunek nośności $V_k \leq R_k$ nie został przekroczony przy wartościach mimośrodków $e = 0$ oraz $e = 1/12B$. Jedynie w przypadku mimośrodu $e = 1/6B$ warunek nośności został nieznacznie przekroczony. Wskaźniki wykorzystania nośności (A_k), wyznaczone na podstawie wartości charakterystycznych obciążenia pionowego i oporu granicznego na wypieranie, dla wartości mimośrodków $e = 0$ oraz $e = 1/12B$ nie przekroczyły 100%. Dla wartości mimośrodu $e = 1/6B$ wskaźnik wykorzystania A_k był nieznacznie większy od 100%.

Tabela 2. Wyniki obliczeń zgodnie z Eurokodem 7 z wykorzystaniem wartości charakterystycznych parametrów

Table 2. Calculation results according to Eurocode 7 with the use of characteristic values of parameters

Wyszczególnienie Specification	Wyniki – Results		
	$e = 0$	$e = 1/12B$	$e = 1/6B$
V_k [kN]	118 082	101 402	91 922
R_k [kN]	130 721	107 712	86 028
$A_k = V_k \times R_k^{-1} \times 100\%$ [%]	90,3	94,1	106,9

Wyniki uzyskane z obliczeń, zgodnie z Eurokodem 7, po uwzględnieniu częściowych współczynników bezpieczeństwa (tab. 3) wskazują, że przy tych samych wymiarach stopy fundamentowej oraz tych samych obciążeniach warunek nośności został przekroczony we wszystkich podejściach, zatem wskaźniki wykorzystania nośności przekraczają 100%.

Podejścia obliczeniowe DA2* i DA3 wykazują największe przekroczenie wykorzystania nośności przy poszczególnych wartościach mimośrodków. Dla mimośrodu $e = 0$ wskaźnik wykorzystania nośności (A_d), wyznaczony na podstawie wartości obliczeniowych obciążenia pionowego i oporu granicznego na wypieranie, wynosi 170,7% w przypadku podejścia DA2*, natomiast dla podejścia DA3 równy jest 167,5%. Wartość wskaźnika wykorzystania nośności w przypadku mimośrodu $e = 1/12B$ dla podejścia DA2* wynosi $A_d = 177,9\%$, a dla podejścia DA3 – $A_d = 174,5\%$. Przy mimośrodku równym $1/6B$ wskaźnik wykorzystania nośności wynosi $A_d = 201,9\%$ dla podejścia DA2* oraz $A_d = 197,9\%$ dla podejścia DA3.

Podejściami obliczeniowymi o mniejszym przekroczeniu wykorzystania nośności są podejścia DA1(1) oraz DA1(2). Wskaźniki wykorzystania nośności (A_d) przy mimośrodku $e = 0$ wynoszą w tym przypadku 121,9% dla podejścia DA1(1) oraz 124,1% dla podejścia DA1(2). Dla mimośrodu $e = 1/12B$ wskaźnik wykorzystania nośności wynosi $A_d = 127,1\%$ dla podejścia DA1(1) oraz $A_d = 129,2\%$ dla podejścia DA1(2). Przy mimośrodku $e = 1/6B$ wskaźnik wykorzystania nośności dla DA1(1) równy jest 144,2%, a dla DA1(2) – 146,6%.

Wyniki obliczeń przeprowadzonych na wartościach charakterystycznych oraz obliczeniowych, zgodnie z dotychczasową normą PN-81/B-03020, zestawiono w tabelach 4 i 5. Wartości charakterystyczne oznaczono symbolami z indeksem „n”, a wartości obliczeniowe – z indeksem „r”.

Tabela 3. Wyniki obliczeń według Eurokodu 7 z użyciem wartości obliczeniowych parametrów
 Table 3. Calculation results according to Eurocode 7 with the use of design values of parameters

Wyszczególnienie Specification	Mimośród Eccentricity	DA1(1)	DA1(2)	DA2* / DA2	DA3
V_d [kN]		159 410	118 082	159 410	159 410
R_d [kN]	$e = 0$	130 721	95 183	933 372	95 183
$A_d = V_d \times R_d^{-1} \times 100\%$ [%]		121,9	124,1	170,7	167,5
V_d [kN]		136 892	101 402	136 892	136 892
R_d [kN]	$e = 1/12B$	107 712	78 466	79 937	78 466
A_d [%]		127,1	129,2	177,9	174,5
V_d [kN]		124 094	91 922	124 094	124 094
R_d [kN]	$e = 1/6B$	86 028	62 701	61 449	62 701
A_d [%]		144,2	146,6	201,9	197,9

Tabela 4. Wyniki obliczeń według PN-81/B-03020 z wykorzystaniem wartości charakterystycznych parametrów, oporu i obciążenia składową pionową

Table 4. Calculation results according to PN-81/B-03020 with the use of characteristic values of parameters, resistance and vertical load

Wyszczególnienie Specification	Wyniki / Results		
	$e = 0$	$e = 1/12B$	$e = 1/6B$
N_n [kN]	118 082	101 402	91 922
Q_{fNB} [kN]	150 549	121 858	95 514
$A_n = N_n \times Q_{fNB}^{-1} \times 100\%$ [%]	78,4	83,2	96,2

Tabela 5. Wyniki obliczeń według PN-81/B-03020 z wykorzystaniem wartości obliczeniowych parametrów, oporu i obciążenia składową pionową

Table 5. Calculation results according to PN-81/B-03020 with the use of design values of parameters, resistance and vertical load

Wyszczególnienie Specification	Wyniki / Results		
	$e = 0$	$e = 1/12B$	$e = 1/6B$
N_r [kN]	141 698	121 682	110 306
Q_{fNB} [kN]	135 494	109 672	85 963
$m \cdot Q_{fNB}$ [kN]	109 750	88 834	69 630
$A_r = N_r \times m^{-1} \times Q_{fNB}^{-1} \times 100\%$ [%]	129,1	137,0	158,4

Warunek nośności, wykorzystując wartości charakterystyczne parametrów, oporu i obciążeń, nie został przekroczony w przypadku wszystkich wartości mimośrodków. Wartości wskaźników wykorzystania (A_n), wyznaczonych na podstawie wartości normowych obciążenia pionowego i oporu granicznego na wypieranie, nie przekraczają 100%.

Należy zwrócić uwagę, że wartości wskaźników wykorzystania nośności są większe w przypadku obliczeń zgodnie z Eurokodem 7 niż uzyskanych w obliczeniach zgodnie z normą PN-81/B-03020 (tab. 2 i 4).

Wykonane obliczenia wskazują, iż przekroczenie wykorzystania nośności w obliczeniach według normy PN-81/B-03020 jest mniejsze niż w przypadku obowiązującego w Polsce podejścia obliczeniowego DA2* (tab. 3 i 5). Wynika to głównie z wprowadzenia przez normę PN-81/B-03020 współczynnika bezpieczeństwa do wartości obciążenia przekazywanego na podłoże (γ_f), wynoszącego 1,2, oraz współczynnika korekcyjnego (m) przyjmowanego do wartości oporu granicznego podłoża (Q_{NB}), przeciwdziałającego obciążeniu.

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że przekroczenia wykorzystania nośności w podejściach obliczeniowych DA1(1) oraz DA1(2) są porównywalne z tym uzyskanym na podstawie normy PN-81/B-03020.

Uzyskane wyniki wskazują również, że wraz ze wzrostem wartości mimośrodów następuje większe przekroczenie wykorzystania nośności. Prawdopodobnie tę można zaobserwować zarówno dla wartości charakterystycznych parametrów, jak i ich wartości obliczeniowych przy obliczeniach zgodnie z Eurokodem 7 oraz PN-81/B-03020.

PODSUMOWANIE

W artykule przeanalizowano przykład oceny nośności podłoża w warunkach bez odpływu pod stopą fundamentową obciążoną mimośrodowo składową pionową. Analizę numeryczną przeprowadzono, wykorzystując wartości charakterystyczne parametrów, a obliczenia według Eurokodu 7 i normy PN-81/B-03020 – przyjmując wartości charakterystyczne oraz obliczeniowe.

Wartość wytrzymałości na ścinanie bez odpływu określono na podstawie wyników badań w cylindrycznym aparacie skrętnym jako wartość średnią wynikającą z procentowego udziału poszczególnych stref charakteryzujących się różnymi mechanizmami zniszczenia, spowodowanymi zmianą kierunków naprężeń głównych. Przeprowadzona analiza numeryczna umożliwiła wyznaczenie granicznych obciążeń składową pionową, przy których osiągnięto stan graniczny nośności przy zadanych wartościach mimośrów obciążenia. Otrzymane wartości zostały wykorzystane w obliczeniach zgodnie z Eurokodem 7 oraz normą PN-81/B-03020 do określenia oddziaływań na stopę fundamentową.

Otrzymane wyniki wskazują, iż dla analizowanego przypadku, wykorzystując podejścia obliczeniowe DA2* oraz DA3, uzyskano największe przekroczenie wykorzystania nośności. Przekroczenie wykorzystania nośności porównywalne z uzyskanym na podstawie normy PN-81/B-03020 otrzymano w podejściach obliczeniowych DA1(1) oraz DA1(2).

Przeprowadzona analiza wykazała, że dla analizowanego przypadku przy projektowaniu na podstawie stanów granicznych nośności podobne wymiary stopy fundamentowej uzyska się z normy PN-81/B-03020 i DA1(1) oraz DA1(2), natomiast wymiary stopy fundamentowej uzyskane na podstawie DA2* i DA3 będą większe.

PIŚMIENNICTWO

- Bond A., Harris A., 2008. Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis. London and New York.
- Brząkała W., 2013. Bezpieczeństwo i niezawodność w geotechnice. Kalibracja częściowych współczynników bezpieczeństwa według Eurokodu EC7-1. Inżynieria Morska i Geotechnika 2, 118–124.
- Frank R., Baudin C., Driscoll R., Kavvas 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.
- Kiziewicz D., 2012. Wyznaczanie wytrzymałości na ścinanie gruntów spoistych w warunkach niestandardowej ścieżki naprężenia. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.
- PN-81/B-03020 Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowe.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- Potts D.M., Zdravkovic L., 2012. Accounting for partial material factors in numerical analysis. Géotechnique 62, 12, 1053–1065.
- 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., Kotlicki W., Godlewski T., 2011. Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

BEARING CAPACITY ASSESSMENT OF SUBSOIL IN UNDRAINED CONDITIONS UNDER PAD FOUNDATION SUBJECTED TO INCLINED LOAD ACCORDING TO EUROCODE 7

Abstract. This paper presents the bearing capacity analysis of overconsolidated cohesive soils under pad foundation subjected to inclined load in undrained conditions. Calculations were performed for the inclined load of pad foundation by permanent vertical load. The values of eccentricity are equal to 0, $1/12B$ and $1/6B$. Numerical calculations were carried out using finite element method in Plaxis program with the use of characteristic values of parameters, action and resistance. Comparative calculations according to Eurocode 7 and standard PN-81/B-03020 rules were made using characteristic and design values of parameters.

Key words: pad foundation, bearing capacity, Eurocode 7, ultimate limit states

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.07.2013