

ANALIZA NOŚNOŚCI PODŁOŻA WYBRANYCH STÓP FUNDAMENTOWYCH CENTRUM WODY SGGW W WARSZAWIE WEDŁUG PN-81/B-03020 ORAZ EUROKODU 7

Paweł Galas, Dariusz Kiziewicz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń nośności podłoża gruntowego dla wybranych stóp fundamentowych budynku Centrum Wody SGGW w Warszawie przeprowadzone według normy polskiej oraz Eurokodu 7. Wyniki obliczeń pokazują, że postępowanie według metodyki podanej w obu normach prowadzi do uzyskania odmiennych wyników. Przyczyną są różnice w wartościach i sposobie uwzględniania częściowych współczynników bezpieczeństwa oraz różnice w wartościach poszczególnych współczynników uwzględnianych we wzorze na całkowitą wartość oporu granicznego podłoża gruntowego.

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

WSTĘP

Tematyka przedstawiona w artykule jest szczególnie ważna ze względu na konieczność posiadania umiejętności posługiwania się normą EN 1997-1 Eurokod 7 przez inżynierów w procesie projektowania posadowień bezpośrednich obiektów budowlanych. Owa konieczność wynika z terminu wycofania polskich norm (PN) ze zbioru polskich norm aktualnych i zastąpienia ich normami europejskimi (PN-EN). Artykuł ten jest wkładem autorów do ogólnokrajowej dyskusji na temat normy EN 1997-1 Eurokod 7. Według autorów podobne komentarze są konieczne w procesie przystosowywania polskiej praktyki projektowej do standardów europejskich, a ich znaczenie jest równie ważne jak znaczenie poradników czy szkoleń projektantów.

Adres do korespondencji – Corresponding authors: Paweł Galas, Dariusz Kiziewicz,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska,
Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: pawel_galas@sggw.pl,
dariusz_kiziewicz@sggw.pl

Analizie poddane zostały wybrane stopy fundamentowe budynku Centrum Naukowego Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie. W artykule zaprezentowane zostały wyniki obliczeń stanu granicznego nośności (ULS – ultimate limit states). Obliczenia przeprowadzone zostały zgodnie z metodologią przedstawioną w normach PN-81/B-03020 oraz EN 1997-1 Eurokod 7. Celem pracy jest dokonanie analizy różnic w sposobie sprawdzania ULS pokazanej w obu normach oraz przedstawienie przyczyn różnic w wynikach obliczeń.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Centrum Naukowe Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie, zwane również Centrum Wody, położone jest w południowej dzielnicy Warszawy Ursynów na terenie kampusu SGGW.

Zaprojektowany budynek posiada dwie kondygnacje. Jego kubatura wynosi około $19\,500\text{ m}^3$, a łączna powierzchnia użytkowa – około 2650 m^2 (piwnica, parter i piętro). Jest to budynek podpiwniczony, ze stropodachem. Wymiary obiektu w planie wynoszą około $50 \times 40\text{ m}$. Główną konstrukcją nośną stanowi układ słupowo-płytkowy, z usztywnieniem w postaci żelbetowego trzonu windowego, trzonów instalacyjnych, klatek schodowych oraz dodatkowych ścian żelbetowych usztywniających. Siatka słupów jest nieregularna, o rozpiętości nieprzekraczającej $7,5\text{ m}$ [Obliczenia statyczne...].

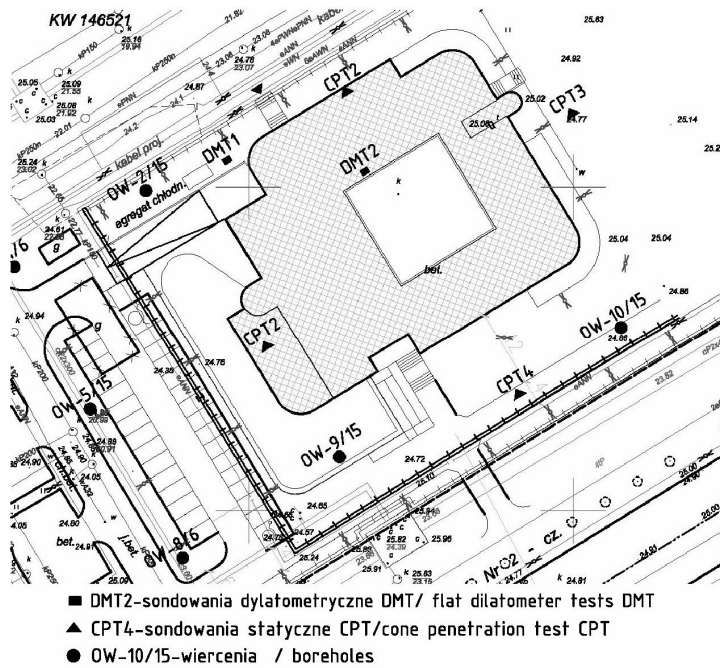
Na terenie przeznaczonym dla inwestycji Centrum Wody wykonane zostały badania terenowe w celu rozpoznania podłoża pod nowo projektowany budynek (rys. 1) [Dokumentacja geotechniczna...]. Przeprowadzone wiercenia, sondowania statyczne CPT, sondowania dylatometryczne DMT pozwoliły na ocenę parametrów geotechnicznych oraz wydzielenie warstw geotechnicznych. Prace terenowe uzupełniono o badania laboratoryjne (uziarnienie gruntów, wilgotność naturalna, granice konsystencji, wskaźnik plastyczności, stopień plastyczności).

Wykonane badania wykazały, że pod nasypami niekontrolowanymi o miąższości do $1,20\text{ m}$ zalegały piaski średnie i drobne o zróżnicowanym stopniu zagęszczenia ($I_D = 0,35\text{--}0,50$). Piaski podścielone są glinami piaszczystymi w stanie twaroplastycznym o miąższości około $6,0\text{--}10,0\text{ m}$. Gliny te zalegają w dwóch warstwach. Górną warstwę stanowią brązowe gliny zwałowe zlodowacenia Warty, natomiast dolna warstwa to szare gliny zwałowe zlodowacenia Odry. Poniżej nawiercono piaski średnie i drobne zagęszczone – rozpoznanie do głębokości $15,0\text{ m p.p.t.}$ (rys. 2).

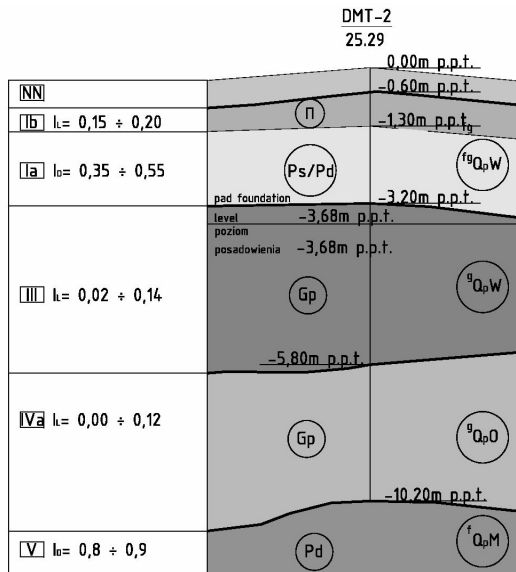
Obciążenia od budynku przekazywane są na podłoże w sposób bezpośredni. W części podziemnej żelbetowe ściany nośne, stanowiące obudowę oraz podparcie dla stropu, posadowane zostały na ławach fundamentowych. W części środkowej obiektu strop oparto na wewnętrznych ścianach żelbetowych oraz monolitycznych słupach posadowionych na stopach.

Zaprojektowana rzędna posadowienia wynosi od $20,34$ do $21,61$ wzgl. „0” Wisły, tj. $3,68\text{--}4,95\text{ m p.p.t.}$ Obciążenia na poszczególne stopy przyjęto do obliczeń na podstawie dokumentów przekazanych przez konstruktora obiektu [Obliczenia statyczne ...].

W niniejszym artykule przeprowadzono analizę nośności stóp fundamentowych o oznaczeniach G6 oraz G4-G5 (tab. 1). Stopa G6 jest stopą pojedynczą, podtrzymującą słup znajdujący się w przecięciu osi G oraz 6. Natomiast stopa G4-G5 jest stopą podwójną, tzn. stanowi podstawę dla dwóch słupów znajdujących się na przecięciu osi G i 4 oraz G i 5 (rys. 3–5) [Obliczenia statyczne ...].



Rys. 1. Lokalizacja otworów wiertniczych oraz sondowań na terenie budowy
 Fig. 1. Localization of boreholes and in situ tests at the building site

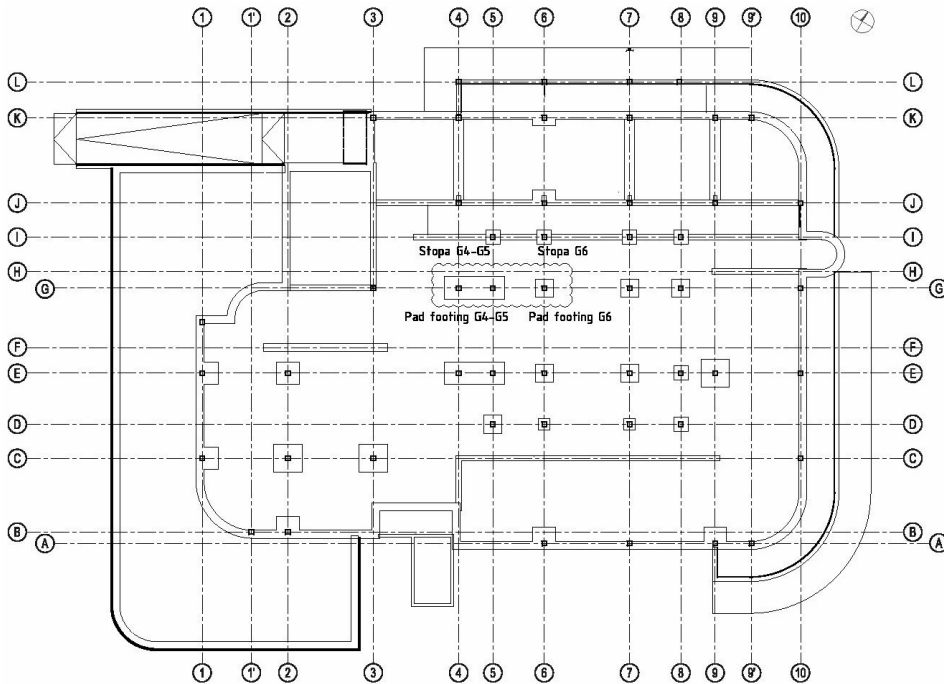


⁹Q_{pW} Osady zlodowacenia Warty ^fQ_{pM} Osady rzeczne interglacjatu mazowieckiego
⁹Q_{pO} Osady zlodowacenia Odry ^{fg}Q_{pW} Utwory fluwioglacjalne zlodowacenia Warty

Rys. 2. Profil DMT 2 wykorzystany w obliczeniach
 Fig. 2. Profile DMT 2 used in calculations

Tabela 1. Podstawowe dane analizowanych stóp fundamentowych
 Table 1. Basic informations about analysed pad footings

Oznaczenie słupa Designation of column	Rzędna posad. wzgl. „0” Wisły Ordinate of found. level relat. to “0” of Vistula River	Wymiary stopy Dimensions of pad footing	Obciążenie Load
	[m]	[m]	[kN]
G6	21,61	1,6 x 1,6	740
G4-G5	21,51	2,0 x 5,25	2450



Rys. 3. Rzut fundamentów budynku Centrum Wodne SGGW
 Fig. 3. Layout of foundations of Water Center building SGGW

METODYKA OBLICZEŃ

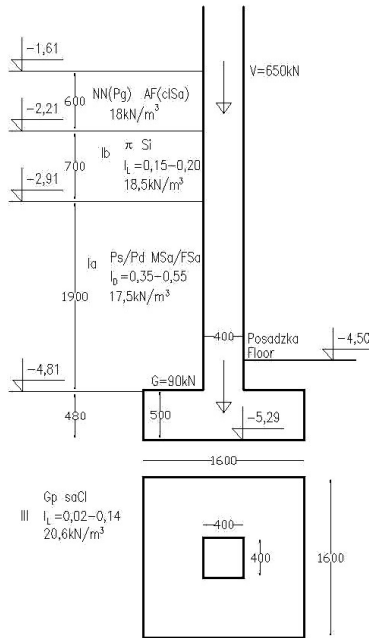
W ujęciu normy PN-81/N-03020 sprawdzenie stanu granicznego nośności polega na sprawdzeniu nierówności:

$$N_r \leq m Q_{fNB} \quad (1)$$

gdzie: N_r – obliczeniowa wartość pionowej składowej obciążenia [kN],

m – współczynnik korekcyjny zależny od metody obliczeń [–],

Q_{fNB} – pionowa składowa obliczeniowego oporu granicznego podłoża gruntowego [kN]



NN – nasyp niekontrolowany / AF – anthropogenic fill
 Pg – piasek gliniasty / clSa – clayey sand
 π – pył / Si – silt
 Ps – piasek średni / MSa – medium sand
 Pd – piasek drobny / FSa – fine sand
 Gp – glina piaszczysta / saCl – sandy clay

Rys. 4. Schemat stopy G6

Fig. 4. Scheme of pad footing G6

$$Q_{fNB} = \bar{B}\bar{L}[(1 + 0,3 \frac{\bar{B}}{\bar{L}})N_c c_u^{(r)} i_c + (1 + 1,5 \frac{\bar{B}}{\bar{L}})N_D \rho_D^{(r)} g D_{\min} i_D + (1 - 0,25 \frac{\bar{B}}{\bar{L}})N_B \rho_B^{(r)} \bar{B} i_B] \quad (2)$$

gdzie: $\bar{B} = B - 2e_B$,

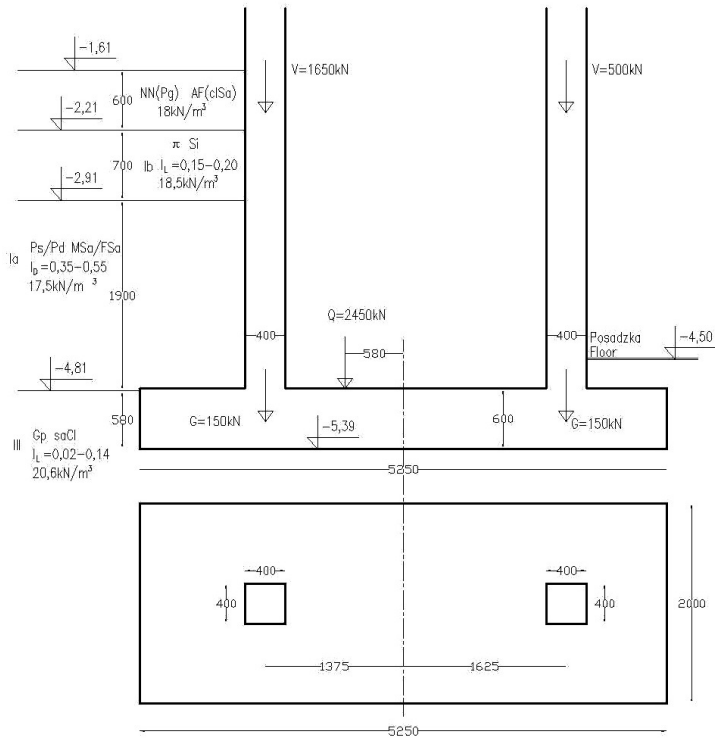
$$\bar{L} = L - 2e_L,$$

e_B, e_L – mimośród działania obciążenia, odpowiednio w kierunku równoległym do szerokości (B) i długości (L) podstawy ($B \leq L$) [m],

D_{\min} – głębokość posadowienia mierzona od najniższego poziomu terenu, np. od podłogi piwnicy lub kanału instalacyjnego [m],

N_c, N_D, N_B – współczynniki nośności [-],

$c_u^{(r)}$ – obliczeniowa wartość spójności gruntu zalegającego bezpośrednio poniżej poziomu posadowienia [kPa],



Rys. 5. Schemat stopy G4-G5
 Fig. 5. Scheme of pad footing G4-G5

- $\rho_D^{(r)}$ – obliczeniowa średnia gęstość objętościowa gruntów (i ew. posadzki) powyżej poziomu posadowienia [$\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$],
 $\rho_B^{(r)}$ – obliczeniowa średnia gęstość objętościowa gruntów zalegających poniżej poziomu posadowienia do głębokości równej B [$\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$]
 g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
 i_c, i_D, i_B – współczynniki wpływu nachylenia wypadkowej obciążenia [-].

Powyższy warunek odnosi się do przypadku podłoża jednorodnego. Norma zaleca również sprawdzenie przypadku podłoża uwarstwowionego. Jednakże w rozpatrywanym zagadnieniu przypadek drugi nie występuje i dlatego wzory na jego sprawdzenie nie zostaną przytoczone.

Norma EN 1997-1 Eurokod 7 określa, że stan graniczny nośności ULS będzie spełniony, gdy zachowana będzie poniższa nierówność:

$$V_d \leq R_d \quad (3)$$

gdzie: V_d – wartość obliczeniowa składowej pionowej prostopadłej przekazywanej przez podstawę fundamentu na podłożu (V_d zawiera ciężar fundamentu i wszystkich materiałów zasypowych, parcie gruntu jako siłę niekorzystną lub korzystną),

R_d – wartość obliczeniowa oporu granicznego podłoża lub oporu ścinania pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem z uwzględnieniem wpływu ukośnych lub mimośrodowych obciążeń oraz wpływu sąsiedztwa skarpy.

Opór graniczny podłoża w przypadku, gdy rozpatruje się warunki z odpływem, a więc sytuację długotrwałą, oblicza się ze wzoru:

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

gdzie: A' – zredukowana powierzchnia podstawy fundamentu $A' = L'B'$ [m²],

$$B' = B - 2e_B$$

$$L' = L - 2e_L$$

c' – spójność efektywna gruntu [kPa],

γ' – obliczeniowy efektywny ciężar objętościowy gruntu zalegającego poniżej podstawy fundamentu [kN·m⁻³],

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

N_c, N_q, N_γ – współczynniki nośności [-],

s_c, s_q, s_γ – współczynniki kształtu fundamentu [-],

i_c, i_q, i_γ – współczynniki nachylenia obciążenia [-],

b_c, b_q, b_γ – współczynniki nachylenia podstawy fundamentu [-].

Norma EN 1997-1 Eurokod 7 zaleca sprawdzenie dodatkowo krótkoterminowego oddziaływania, czyli rozpatrzenie sytuacji w warunkach bez odpływu, jak również sprawdzenie nośności podłoża na poślizg w poziomie posadowienia, jednakże z uwagi na przyjęte do obliczeń parametry wytrzymałościowe gruntów w poziomie posadowienia oraz na pionowe osiowe oddziaływanie obciążenia sytuacje te nie będą rozpatrywane, a odpowiadające im wzory nie zostaną przytoczone.

Ocena nośności podłoża gruntowego przedstawiona w obu omawianych normach oparta jest na wzorze podanym przez Terzagiego [1943]:

$$q_{gr} = cN_c + \gamma_D DN_D + \gamma_B BN_B$$

gdzie: cN_c – część wzoru związana ze spójnością gruntu,

$\gamma_D DN_D$ – część wzoru związana z nadkładem warstw leżących powyżej poziomu posadowienia,

$\gamma_B BN_B$ – część wzoru związana z ciężarem gruntu zalegającego poniżej poziomu posadowienia.

Wzór ten w ogólnej postaci zbudowany jest z trzech członów. Pierwszy z nich związany jest ze spójnością gruntu, drugi wynika z ciężaru warstw leżących powyżej poziomu posadowienia budowli, a trzeci zależy od ciężaru gruntu zalegającego poniżej poziomu posadowienia. Wzory podawane w omawianych normach są modyfikacjami wzoru Terzagiego, w których zmianie uległy współczynniki nośności oraz współczynniki kształtu fundamentu. Ponadto w obu normach uwzględnia się wpływ nachylenia działającego obciążenia, a w normie EN 1997-1 Eurokod 7 dodatkowo uwzględnia się nachylenie podstawy fundamentu.

Metoda przedstawiona w normie PN-81/B-03020 jest metodą opartą na statystycznym oszacowaniu wartości obliczeniowych parametrów gruntowych oraz oddziałujących obciążeń poprzez uwzględnienie probabilistycznego zapasu bezpieczeństwa w postaci współczynników γ_f i γ_m . Natomiast metoda przedstawiona w normie EN 1997-1 nazywana jest metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa, polegającą na stosowaniu współczynników częściowych dla oddziaływań lub skutków oddziaływań parametrów gruntu oraz oporów. W normie tej stosowane są różne kombinacje tych współczynników, co powoduje znaczne rozbudowanie zakresu koniecznej do przeprowadzenia analizy. Norma EN 1997-1 wyróżnia 4 podejścia obliczeniowe, tzw. DA (Design Approach): DA1(1), DA1(2), DA2, DA3. Poszczególne podejścia dla rozpatrywanego przypadku charakteryzują się następującymi cechami:

DA1(1) – obliczeniowa wartość oddziaływania, tutaj traktowanego jako niekorzystne, w celu jej wyznaczenia stosuje się współczynnik 1,35. Wartość oporu podłoża oblicza się na podstawie wartości charakterystycznych parametrów gruntowych.

DA1(2) – charakterystyczna wartość oddziaływań trwałych. Wartość oporu podłoża oblicza się na podstawie wartości obliczeniowych parametrów gruntowych, w celu ich uzyskania stosuje się współczynnik 1,25 (dotyczy tangensa kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności).

DA2 – obliczeniowa wartość oddziaływania, tutaj traktowanego jako niekorzystne, w celu jej wyznaczenia stosuje się współczynnik 1,35. Wartość oporu podłoża oblicza się na podstawie wartości charakterystycznych parametrów gruntowych. Wartość oporu dzieli się przez 1,4, uzyskując tym samym jego wartość „obliczeniową”.

DA3 – obliczeniowa wartość oddziaływania, tutaj traktowanego jako niekorzystne, w celu jej wyznaczenia stosuje się współczynnik 1,35. Wartość oporu podłoża oblicza się na podstawie wartości obliczeniowych parametrów gruntowych, w celu ich uzyskania stosuje się współczynnik 1,25 (dotyczy tangensa kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności).

Tok postępowania w polskiej normie jest analogiczny jak w przypadku podejścia DA3, lecz przy zastosowaniu innych współczynników częściowych. W PN-81/B-03020 wartość obliczeniową oddziaływania uzyskuje się przez pomnożenie wartości charakterystycznej przez odpowiedni współczynnik obciążenia, natomiast wartości obliczeniowe parametrów gruntowych (c , φ oraz γ) uzyskuje się, stosując odpowiedni współczynnik materiałowy. Na użytek pracy przyjęto wartość współczynnika obciążenia równą 1,2, natomiast współczynnika materiałowego równą 0,9.

ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ NOŚNOŚCI

Dla każdego z obliczeń rozpatrzone zostały trzy przypadki wyznaczania parametrów wytrzymałościowych gruntu zalegającego w poziomie posadowienia. W pierwszym przypadku parametry wytrzymałościowe przyjęto z badań trójosiowych silnie prekonsolidowanych glin brązowych zlodowacenia Warty zalegających w rejonie analizowanego budynku. W drugim przypadku parametry te zostały wyznaczone metodą B, opisaną w normie PN-81/B-03020, czyli wyznaczone zostały na podstawie zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami wytrzymałościowymi a stopniem plastyczności (I_L) wyznaczonym na podstawie bezpośrednich badań wykonanych przez Katedrę Geoinżynierii

WiKŚ SGGW w ramach sporządzania dokumentacji geotechnicznej projektowanego obiektu. Założono tu, że glina zalegająca w poziomie posadowienia należy do grupy gruntów spoistych B (inne grunty spoiste skonsolidowane oraz grunty spoiste morenowe nieskonsolidowane). Trzeci przypadek jest analogiczny do drugiego, przy czym założono, że glina zalegająca w poziomie posadowienia należy do grupy gruntów spoistych A (grunty spoiste morenowe skonsolidowane). Pozostałe właściwości fizyczne wykorzystywane w obliczeniach przyjęto ze wspomnianej powyżej dokumentacji geotechnicznej dla obiektu Centrum Wody (tab. 2). Charakterystyczne wartości parametrów wytrzymałościowych zostały wyznaczone dla charakterystycznej wartości stopnia plastyczności $I_L^{(n)} = 0,08$. Do obliczeń nośności przyjęto charakterystyczne wartości gęstości $\rho_D^{(n)} = 1,77 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$, $\rho_B^{(n)} = 2,06 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$. Obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych uzyskano przez zastosowanie współczynnika materiałowego $\gamma_m = 0,9$. Opisany powyżej tok postępowania zastosowany został celem sprawdzenia wyników obliczeń przy uwzględnieniu odmiennych parametrów wytrzymałościowych gruntu.

Tabela 2. Wartości charakterystyczne parametrów wytrzymałościowych gliny zwałowej zalegającej w poziomie posadowienia według różnych przypadków obliczeniowych
Table 2. Characteristic values of strength parameters of boulder clay laying at foundation level according to different calculation cases

Wyszczególnienie Specification	Przypadek obliczeniowy 1 Calculation case 1	Przypadek obliczeniowy 2 Calculation case 2	Przypadek obliczeniowy 3 Calculation case 3
Wartość charakterystyczna spójności gruntu [kPa] Characteristic value of cohesion	3	36	45
Wartość charakterystyczna kąta tarcia wewnętrznego [°] Characteristic value of internal friction angle	29	20	24

W tabeli 3 umieszczone zostały wartości obliczeniowe obciążenia i oporu granicznego gruntu oraz globalny współczynnik bezpieczeństwa (OFS – Overall Factor of Safety), będący ilorazem obliczeniowej wartości gruntowego oporu granicznego przez obliczeniową wartość oddziałującego obciążenia. Ponadto tabela 3 uzupełniona została o wskaźnik wykorzystania nośności (WN), który stanowi wyrażony w procentach iloraz obliczeniowej wartości oddziaływania przez obliczeniową wartość oporu granicznego podłoża gruntowego. Rysunki 6 i 7 przedstawiają dwa wykresy kolumnowe wartości globalnego współczynnika bezpieczeństwa (OFS), oddzielnie dla każdej stopy, przy uwzględnieniu różnych przypadków obliczeniowych.

Największą wartość OFS otrzymano we wszystkich przypadkach dla podejścia DA1 (A1 + M1 + R1), nieco mniejsze wartości uzyskano dla DA1 (A2 + M2 + R1), DA2 (A1 + M1 + R2). Zastosowanie polskiej normy PN-81/B-03020 wykazało OFS na poziomie niższym lub pośrednim między DA1 (A2 + M2 + R1), DA2 (A1 + M1 + R2). Podejście projektowe DA3 (A1 + M2 + R3) prowadziło do uzyskania najmniejszej wartości współczynnika OFS.

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń
Table 3. Comparison of calculation results

Sprawdzanie SGN Verification of ULS according				Stopa / Pad foundation							
				G6				G4-G5			
				V_d	R_d	OFS _d	WN _d	V_d	R_d	OFS _d	WN _d
				kN	kN	–	%	kN	kN	–	%
Według Eurokodu 7 / To Eurocode 7	DA1	A1+M1+R1 1,35 1,0 1,0	P1	999	1710,1	1,71	58,4	3307,5	7939,3	2,40	41,7
			P2		2464,0	2,47	40,5		10449,4	3,16	31,7
			P3		3832,8	3,84	26,1		16481,9	4,98	20,1
		A2+M2+R1 1,0 1,25 1,0	P1	740	876,8	1,18	84,4	2450	3994,3	1,63	61,3
			P2		1506,1	2,04	49,1		6261,8	2,56	39,1
			P3		2220,8	3,0	33,3		9351,9	3,82	26,2
	DA2	A1+M1+R2 1,35 1,0 1,4	P1	999	1221,5	1,22	81,8	3307,5	5671	1,71	58,3
			P2		1760	1,76	56,8		7463,9	2,26	44,3
			P3		2737,7	2,74	36,5		11772,7	3,56	28,1
	DA3	A1+M2+R3 1,35 1,25 1,0	P1	999	876,8	0,88	113,9	3307,5	3994,3	1,21	82,8
			P2		1506,1	1,51	66,3		6261,8	1,89	52,8
			P3		2220,8	2,22	45,0		9351,9	2,83	35,4
Według PN-81/B-03020 To PN-81/B-03020	P1		888	1013,1	1,14	87,7	2940	3541,7	1,20	83,0	
	P2			1767,9	1,99	50,2		6140,9	2,09	47,9	
	P3			2568,9	2,89	34,6		8981,7	3,05	32,7	

Objaśnienia / Explanations:

DA – podejście obliczeniowe wg Eurokod 7 / design approach according to Eurocode 7.

A1–2 – współczynniki częściowe dla oddziaływań według Eurokod 7 / partial factors for actions according to Eurocode 7.

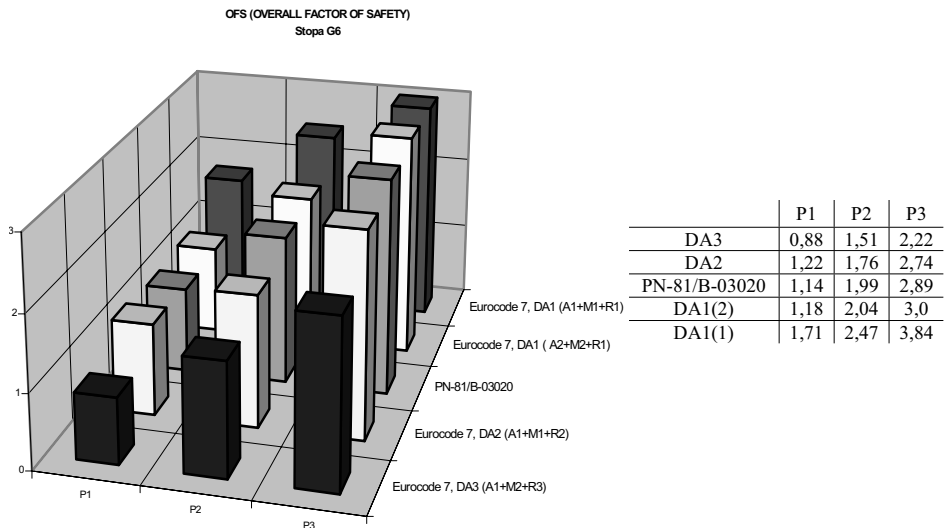
M1–2 – współczynniki częściowe do parametrów gruntu według Eurokod 7 / partial factors for soil parameters according to Eurocode 7.

R1–3 – współczynniki częściowe dla oporu według Eurokod 7 / partial factors for resistance according to Eurocode 7.

P1 – przypadek obliczeniowy 1 / calculation case 1.

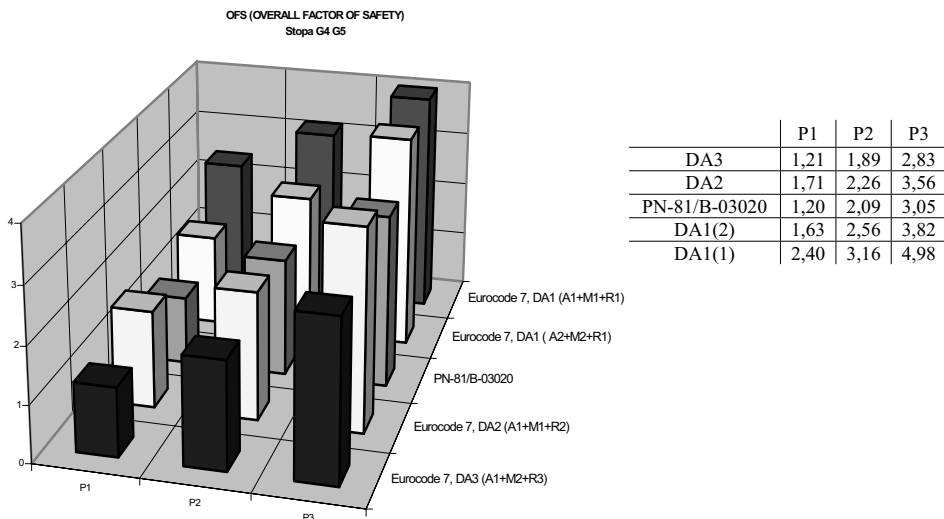
P2 – przypadek obliczeniowy 2 / calculation case 2.

P3 – przypadek obliczeniowy 3 / calculation case 3.



Rys. 6. Zestawienie wartości OFS dla poszczególnych przypadków obliczeniowych według Eurokod 7 oraz PN-81/B-03020 (Stopa G6)

Fig. 6. Comparison of OFS values for specific Design Approaches according to Eurocode 7 and PN-81/B-03020 (Pad footing G6)

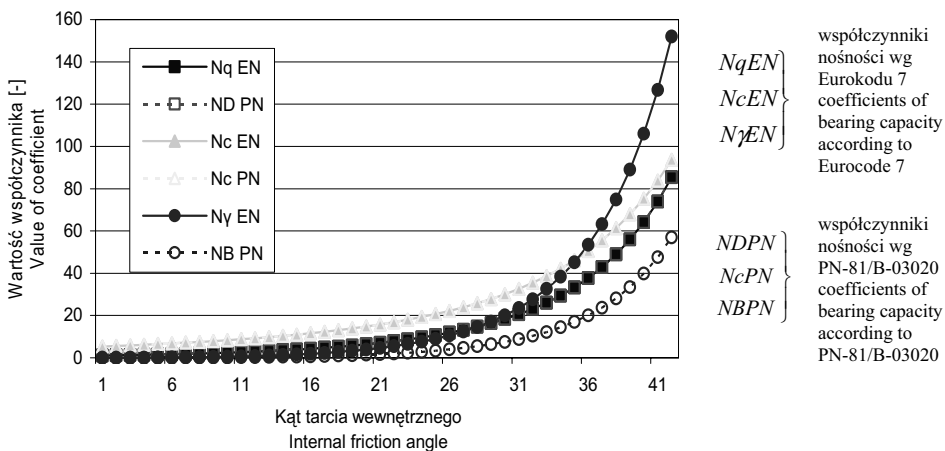


Rys. 7. Zestawienie wartości OFS dla poszczególnych przypadków obliczeniowych według Eurokod 7 oraz PN-81/B-03020 (Stopa G4-G5)

Fig. 7. Comparison of OFS values for specific Design Approaches according to Eurocode 7 and PN-81/B-03020 (Pad footing G4-G5)

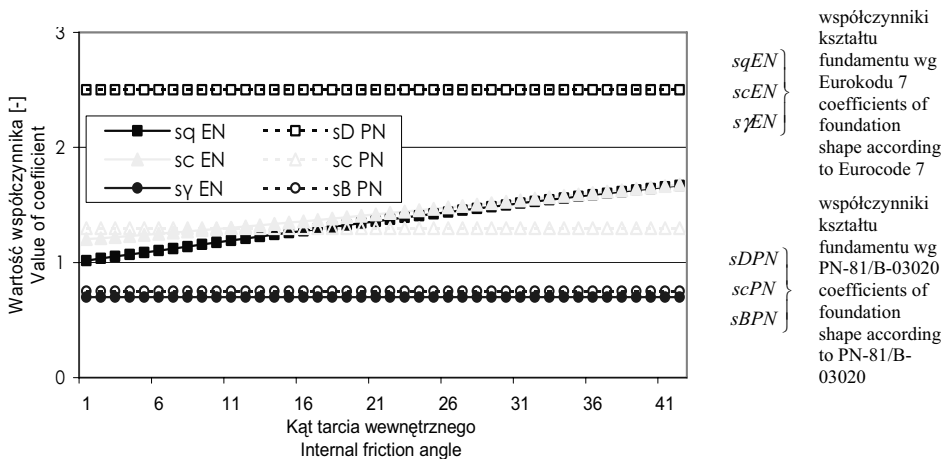
W dalszej części skoncentrowano się na analizie czynników wpływających na uzyskiwanie różnic w wynikach obliczeń. Jako że we wzorach na nośność według obu norm w rozpatrywanym przypadku występują zarówno współczynniki nośności, jak i współczynniki kształtu fundamentu, właśnie one zostaną poddane rozważaniom. Rysunek 8 przedstawia zależność wartości współczynników nośności od wartości kąta tarcia wewnętrznego. Rysunek 9 pokazuje natomiast zależność współczynników kształtu od wartości kąta tarcia wewnętrznego przy założeniu, że analizowana stopa jest kwadratowa.

Rysunek 8 pokazuje, że w przypadku Eurokodu 7 znacznie większe znaczenie przypisuje się współczynnikowi nośności związanemu z ciężarem gruntu zalegającego poniżej poziomu posadowienia, niż jest to przyjęte w normie polskiej. Współczynnik w ujęciu



Rys. 8. Zależność współczynników nośności od kąta tarcia wewnętrznego

Fig. 8. Relationship between bearing capacity coefficients and internal friction angle



Rys. 9. Zależność współczynników kształtu fundamentu od kąta tarcia wewnętrznego

Fig. 9. Relationship between foundation shape coefficients and internal friction angle

Europejskim jest 2,67 razy większy niż w ujęciu polskim. Wartości pozostałych współczynników nośności są sobie równe.

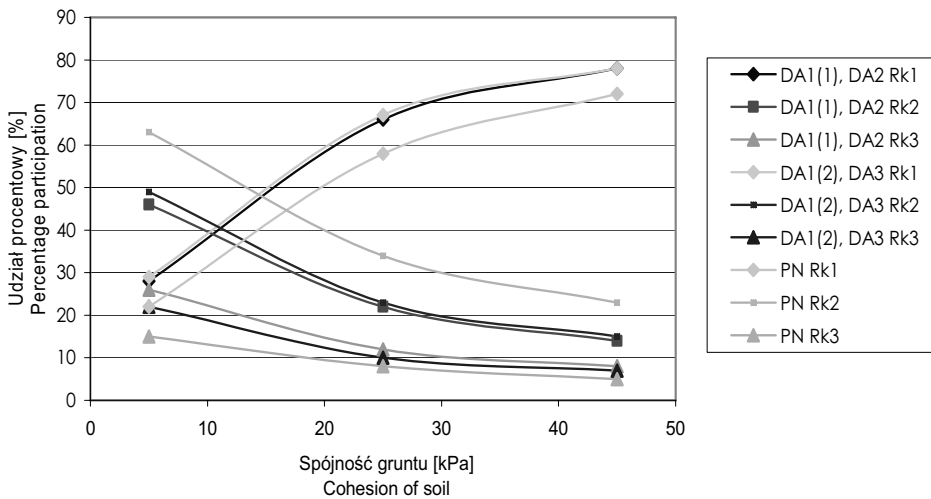
W normie EN-1997 Eurokod 7 współczynnik kształtu fundamentu związany z ciężarem nadkładu powyżej poziomu posadowienia oraz współczynnik kształtu fundamentu związany ze spójnością uzależnione są od wartości kąta tarcia wewnętrznego. Natomiast w przypadku normy PN-81/B-02030 współczynniki kształtu zależą jedynie od wymiarów fundamentu. Współczynnik kształtu związany z ciężarem nadkładu podawany w normie europejskiej jest od 1,5 do 2,45 razy większy do swojego polskiego odpowiednika. Współczynniki kształtu związane ze spójnością według obu norm są sobie w przybliżeniu równe dla kąta tarcia wewnętrznego wynoszącego około 11° . Poniżej tej wartości współczynnik europejski jest mniejszy od polskiego maksymalnie 1,08 razy, natomiast powyżej jest większy maksymalnie 1,29 razy. Współczynniki kształtu związane z ciężarem gruntu poniżej poziomu posadowienia prezentowane w obu normach pozostają ze sobą w stosunku 1,07, przy czym współczynnik według polskiej normy ma większą wartość.

Okazuje się, że udział poszczególnych członów wzoru na opór graniczny gruntu w jego całkowitej wartości jest różny w obu normach. Bowiem, jak już wcześniej wspomniano, wzór ten zbudowany jest z trzech części związanych odpowiednio ze spójnością gruntu, ciężarem nadkładu warstw powyżej poziomu posadowienia oraz ciężarem gruntu poniżej poziomu posadowienia. Rozważanie to dotyczy wartości „charakterystycznej” oporu, tzn. w przypadku podejścia DA2 przed podzieleniem jej przez współczynnik częściowy. Poniżej zamieszczone wykresy (rys. 10 i 11) przedstawiają zmienność procentowego udziału poszczególnych członów w zależności od metodologii oraz zmieniającej się wartości spójności przy stałej wartości kąta tarcia wewnętrznego gruntu. Jako że procedura obliczenia wartości oporu przed uwzględnieniem współczynnika częściowego w przypadku podejść DA1(1) i DA2 oraz DA1(2) i DA3 jest taka sama, więc przypadki te przedstawione zostaną na wykresie jednymi krzywymi.

Rysunki 10 oraz 11 pokazują, że w przypadku normy Eurokod 7 udział członu wzoru na opór związanego ze spójnością gruntu wynosi dla stopy G6 od 28 do 78% oraz dla stopy G4-G5 od 26 do 77%, natomiast według normy PN-82/B-03020 odpowiednio od 22 do 72% oraz od 16 do 63%. Podobną tendencję obserwuje się w przypadku członu związanego z ciężarem gruntu poniżej poziomu posadowienia. Jego udział dla stóp G6 i G4-G5 według Eurokodu 7 wynosi od 7 do 26%, natomiast według PN-82/B-03020 odpowiednio od 5 do 15% oraz od 7 do 15%. Obliczenia prowadzone zgodnie z normą europejską pokazują, że udział członu związanego z ciężarem nadkładu warstw ponad poziom posadowienia w całkowitej wartości oporu wynosi dla stóp G6 oraz G4-G5 odpowiednio od 14 do 49% oraz od 15 do 50% natomiast w przypadku normy polskiej odpowiednio od 23 do 63% oraz od 30 do 69%.

PODSUMOWANIE

Analiza nośności podłoża gruntowego przeprowadzona dla takich samych danych wejściowych, według obu omawianych norm, prowadzi do zróżnicowanych wyników. Pierwszym czynnikiem różnicującym wyniki obliczeń jest stosowanie odmiennych wzorów służących do wyznaczania wartości współczynników nośności oraz kształtu funda-



DA1(1) – kombinacja pierwsza podejścia projektowego pierwszego według Eurokod 7 / first combination of design approach 1 according to Eurocode 7

DA1(2) – kombinacja druga podejścia projektowego pierwszego według Eurokod 7 / second combination of design approach 1 according to Eurocode 7

DA2 – podejście obliczeniowe drugie według Eurokod 7 / design approach 2 according to Eurocode 7

DA3 – podejście obliczeniowe trzecie według Eurokod 7 / design approach 3 according to Eurocode 7

PN – podejście według PN-81/B-03020 / approach according to Eurocode 7

Rk1 – człon wzoru na opór związany ze spójnością gruntu / part of formula of bearing resistance connected with cohesion

Rk2 – człon wzoru na opór związany z ciężarem nadkładu warstw powyżej poziomu posadowienia / part of formula of bearing resistance connected with weight of layers overlaying above foundation level

Rk3 – człon wzoru na opór związany z ciężarem gruntu poniżej poziomu posadowienia / part of formula of bearing resistance connected with weight of layers underneath foundation level

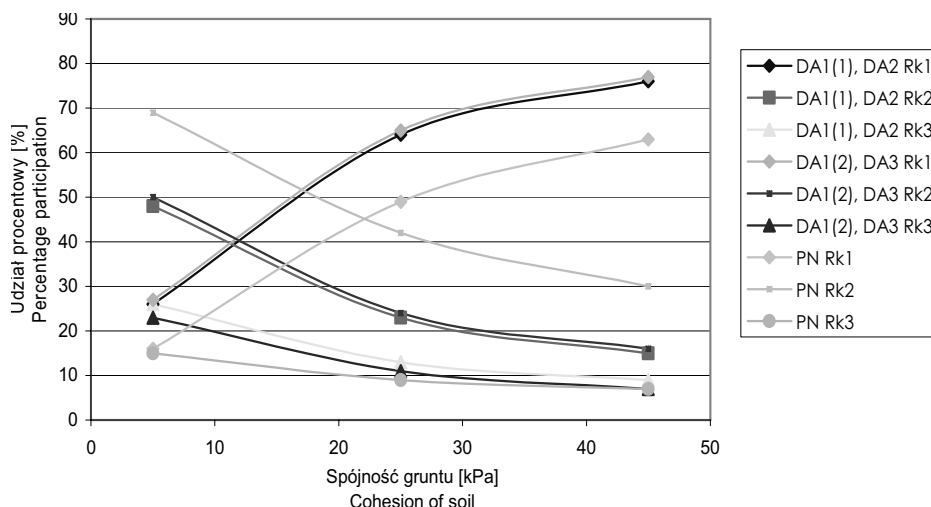
Rys. 10. Procentowy udział poszczególnych członów wzoru w całkowitej wartości oporu gruntu przy stałej wartości kąta tarcia wewnętrznej i zmiennej wartości spójności – stopa G6

Fig. 10. Percentage participation of particular elements of formula in overall value of soil resistance under conditions of constant value of internal friction angle and variable value of cohesion – pad footing G6

mentu. Drugim czynnikiem różnicującym wyniki jest stosowanie odmiennych współczynników częściowych, służących do wyznaczania wartości oddziaływań, parametrów gruntowych oraz oporów.

Dokonana analiza wykazała, że obliczenia według Eurokodu 7, zgodnie z podejściem DA3, prowadzą do uzyskania najmniejszych wartości globalnego współczynnika bezpieczeństwa, tj. nośność gruntu wykorzystana jest w największym stopniu spośród wszystkich podejść projektowych. Odwrotną tendencję uzyskuje się w przypadku podejścia projektowego DA1(1). Wyniki, według polskiej normy, uzyskują wartości pośrednie pomiędzy wyżej wymienionymi wartościami skrajnymi.

W przypadku normy Eurokod 7 zdecydowanie większe znaczenie przypisuje się spójności gruntu oraz ciężarowi gruntu poniżej poziomu posadowienia, bowiem udział czło-



DA1(1), DA1(2), DA2, DA3, PN, Rk1, Rk2, Rk3 – oznaczenia według rysunku 10

Rys. 11. Procentowy udział poszczególnych członów wzoru w całkowitej wartości oporu gruntu przy stałej wartości kąta tarcia wewnętrznego i zmiennej wartości spójności – stopa G4-G5

Fig. 11. Percentage participation of particular elements of formula in overall value of soil resistance under conditions of constant value of internal friction angle and variable value of cohesion – pad footing G4-G5

nów wzoru na opór związanych właśnie z tymi elementami jest odpowiednio większy niż według normy PN-82/B-03020. Odwrotną tendencję obserwuje się w przypadku ciężaru nadkładu warstw powyżej poziomu posadowienia, który to czynnik w przypadku normy europejskiej ma mniejszy wpływ na wartość oporu niż według normy polskiej.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż przyjmowanie dużych wartości spójności prowadzi do znacznego zawyżenia wartości globalnego współczynnika bezpieczeństwa.

PIŚMIENICTWO

Dokumentacja geotechniczna – Centrum Naukowe Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska, 2005. Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa.

EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.

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.

Kłosiński B., 2005. Przegląd norm europejskich dotyczących projektowania konstrukcji geotechnicznych. Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele 2.

Kłosiński B., 2007. Europejskie normy geotechniczne. Przykłady projektowania fundamentów według EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne. Studia podyplomowe – projektowanie geotechniczne, bezpieczeństwo i oddziaływanie budowli na środowisko. SGGW, Warszawa.

Kotlicki W., 2005. Projektowanie posadowień bezpośrednich w ujęciu Eurokodu 7. XX Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”. Wisła – Ustroń, 1–4 marca.

- Lechowicz Z., Rabarijoely S., 2003. Ocena osiadań fundamentów bezpośrednich posadowionych na prekonsolidowanych gruntach spoistych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3–4.
- Obliczenia statyczne i wymiarowanie do projektu wykonawczego w branży konstrukcyjnej wykonane na podstawie Projektu Budowlanego z III/IV 2005 wykonanego przez firmę „RAAB”.
- Opiłka J., 2006. Normalizacja w zakresie projektowania konstrukcji budowlanych. Polski Komitet Normalizacji, 03.02 (www.pkn.gov.pl).
- Orr T., 2005. Evaluation of Eurocode 7. Trinity College, Dublin, 31 March and 1 April.
- 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. Seminarium „Projektowanie mostów w normach europejskich”. III Sesja: EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne. IBDiM Warszawa, 15 listopada 2004.
- Terzaghi K., 1943. *Theoretical soil mechanics*. John Wiley and Sons, New York.

THE ANALYSIS OF BEARING CAPACITY OF SELECTED PAD FOUNDATIONS OF WATER CENTER BUILDING OF WARSAW UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES – SGGW BASED ON PN-81/B-03020 AND EN 1997-1 EUROCODE 7

Abstract. This paper presents the results of calculations of bearing capacity of soils for selected pad foundations of Water Center building of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, based on polish standard and Eurocode 7. The calculations show that procedure based on methodology shown in both standards leads to different results. The cause of this state are differences in values and way of taking into account of partial factors and differences in values of particular factors used in formula for calculation of overall value of bearing resistance of soil.

Key words: shallow foundation, limit states, bearing capacity, preconsolidated cohesive soils

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2008