

OCENA NOŚNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO POD FUNDAMENTAMI DWUPOZIOMOWEGO PARKINGU PODZIEMNEGO SGGW

Simon Rabarijoely

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Niniejszy artykuł ma na celu sprawdzenie koncepcji posadowienia podziemnego parkingu głównego SGGW. Projektowe założenie polegało na przyjęciu jednakowego poziomu posadowienia dla wszystkich fundamentów, wynoszącego 21,90 m nad „0” Wisły. Z uwagi na niejednorodne podłoże na tym poziomie została wykonana analiza, która wykazała konieczność rozpatrywania poziomów posadowienia każdego z fundamentów indywidualnie. W artykule przeprowadzono analizę i ocenę założonego poziomu posadowienia dostosowanego do przyjętych wymiarów poszczególnych fundamentów. Obliczenia dotyczące I i II stanu granicznego, które polegały na wyznaczeniu nośności oraz wartości osiadań, przeprowadzono zgodnie z normami PN-81/B-03020 i Eurokodem 7. Obliczenia te wykazały, iż nie jest możliwe posadowienie fundamentów w warstwie geotechnicznej IIb (w 21,90 m nad „0” Wisły) ze względu na niespełnienie warunków I stanu granicznego jednocześnie dla obu tych norm.

Słowa kluczowe: PN-81/B-03020, Eurokod 7, posadowienie bezpośrednie, stany graniczne

WSTĘP

Artykuł ten powstał w celu sprawdzenia możliwości posadowienia bezpośredniego zarówno zgodnie z normą PN-81/B-03020, jak i Eurokodem 7 wszystkich fundamentów dwupoziomowego parkingu głównego SGGW na jednakowym poziomie, który wynosi 21,90 m nad „0” Wisły. Prowadząc obliczenia według tych dwóch norm, kierowano się ich odmiennym podejściem do zagadnienia, jakim jest projektowanie fundamentów bezpośrednich, oraz faktem wprowadzania Eurokodu jako normy obowiązującej w Polsce. W konstrukcji parkingu zastosowano posadowienie bezpośrednie. Było to możliwe ze względu na wolną przestrzeń dostępną przed budową oraz w celu zmniejszenia kosztów,

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

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2015

jakie należałoby ponieść, stosując posadowienie pośrednie. Parking SGGW jest usytuowany w bezpośrednim sąsiedztwie budynku B37, analiza stateczności dla tego budynku, wykonana z myślą o poszczególnych etapach powstawania parkingu, nie wykazała niebezpiecznych zmian w podłożu, co potwierdziło dobór posadowienia bezpośredniego. W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne zawierające informacje projektowe dotyczące fundamentów bezpośrednich, kryterium geotechnicznego, charakterystyki warunków panujących w podłożu znajdującym się pod parkingiem, elementów konstrukcyjnych analizowanego obiektu budowlanego, a także wyznaczania obciążeń pochodzących od tego obiektu działających na grunt oraz stanów granicznych nośności i użyteczności.

POSTAWY TEORETYCZNE

Obliczanie nośności według normy PN-81/B-03020 i Eurokodu 7

Zgodnie z PN-81/B-03020 podłoże gruntowe jest to strefa, w której właściwości gruntów mają wpływ na projektowanie, wykonanie i eksploatację obiektu budowlanego, i którą należy podzielić na warstwy geotechniczne, czyli warstwy gruntowe o zbliżonych właściwościach geotechnicznych. Norma ta zaleca, aby przyjmować wydzielenia geologiczne jako podstawę podziału na warstwy geotechniczne. Według PN-81/B-03020 występują trzy rodzaje I stanu granicznego nośności: wypieranie podłoża przez pojedynczy fundament lub przez całą budowlę, osuwisko lub zsuw fundamentów lub podłoża wraz z całością obiektu oraz przesunięcie w poziomie posadowienia fundamentu lub w głębszych warstwach podłoża [Obrycki i Pisarczyk 2005, Grabowski i in. 2005, Puła i Zaskórski 2015).

Obliczenia dla stanu granicznego nośności wykonuje się w każdym przypadku, gdy istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia niestateczności układu fundament – podłoże:

$$Q_r \leq m \cdot Q_f \quad (1)$$

gdzie: Q_f – opór graniczny podłoża gruntowego przeciwdziałający obciążeniu Q_r [kN],
 m – współczynnik korekcyjny, przyjmowany w zależności od sposobu obliczania Q_f w granicach 0,7–0,9,

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

gdzie: $\bar{B} = B - 2e_B$, $\bar{L} = L - 2e_L$ przy czym $\bar{B} \leq \bar{L}$,
 e_B, e_L – mimośród działania obciążenia, odpowiednio w kierunku równoległym do szerokości B i długości L podstawy ($B \leq L$),
 D_{\min} – głębokość posadowienia mierzona od najniższego poziomu terenu,

$$N_D = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi / 2),$$

$$N_C = (N_D - 1) \operatorname{ctg} \varphi,$$

$$N_B = 0,75(N_D - 1) \operatorname{tg} \varphi,$$

N_C, N_D, N_B – współczynniki nośności wyznaczone zależnie od wartości $\varphi = \varphi_u^{(r)}$,
według powyższych wzorów lub z nomogramu,

i_C, i_D, i_B – współczynniki wpływu nachylenia wypadkowej obciążenia, wyznaczone
z nomogramów,

$c_u^{r(r)}, \rho_D^{r(r)}, \rho_B^{r(r)}$ – parametry obliczeniowe gruntu.

Podstawą projektów geotechnicznych według Eurokodu 7 jest metoda stanów granicznych: nośności (*ULS*) oraz użyteczności (*SLS*). Stany graniczne to stany, po których przekroczeniu konstrukcja nie spełnia kryteriów projektowych. Uwzględniają one generalne wymagania, jakie muszą być spełnione, i czynniki, które mają być rozpatrzone w projekcie, wybór obciążeń i parametrów materiału, współczynniki cząstkowe obciążeń, obliczenia sprawdzające stan zniszczenia i granic stanu przydatności eksploatacyjnej.

W Eurokodzie 7-1 podano cztery metody projektowania, które można stosować dla wykazania, że nie przekroczono stanów granicznych: przeprowadzenie obliczeń, zastosowanie wymaganych przepisów, użycie modeli doświadczalnych i próbnych obciążeń oraz użycie metody obserwacyjnej. Według Eurokodu 7 powinno się uwzględnić następujące stany graniczne: utratę ogólnej stateczności, wyczerpanie nośności, zniszczenie na skutek przebicia lub wypierania, utratę stateczności na skutek przesunięcia (poślizgu), łączną utratę stateczności podłoża i zniszczenie konstrukcji, zniszczenie konstrukcji na skutek przemieszczenia fundamentu, nadmierne osiadanie, nadmierne wypiętrzenie spowodowane pęcznieniem, przemarzaniem lub innymi przyczynami oraz niedopuszczalne drgania.

Dokonując obliczeń stanu granicznego nośności (*ULS*), należy sprawdzić stateczność ogólną, z uwzględnieniem fundamentów lub bez fundamentów, szczególnie w sytuacjach: na naturalnym zboczu lub skarpie albo w ich pobliżu, w pobliżu wykopu lub ściany oporowej, w pobliżu rzeki, kanału, jeziora, zbiornika lub brzegu morza oraz w pobliżu wyrobisk górniczych lub konstrukcji podziemnych. Dla wymienionych sytuacji należy wykazać, że utrata stateczności masywu podłoża wraz z fundamentem jest mało prawdopodobna.

Obliczeniową wartość oporu granicznego wyznacza się z zależności:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,v}} \quad (3)$$

gdzie: $\gamma_{R,v}$ – współczynnik częściowy,

R_k – charakterystyczna wartość oporu granicznego [kN], wyznaczana ze wzoru:

$$R_k = A' \cdot (c'_k \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \quad (4)$$

gdzie: N_c, N_q, N_γ – współczynniki nośności, zależne od φ' ,

b_c, b_q, b_γ – współczynniki wpływu nachylenia podstawy,
 s_c, s_q, s_γ – współczynniki wpływu kształtu podstawy,
 i_c, i_q, i_γ – współczynniki wpływu nachylenia wypadkowej obciążenia,
 φ', c', γ' – parametry efektywne gruntu poniżej poziomu posadowienia,
 q' – efektywne naprężenie w poziomie posadowienia,
 $A' = L'B'$ – efektywne pole powierzchni fundamentu,
 $L'B'$ – efektywne wymiary fundamentu.

Współczynniki częściowe podzielono na zestawy określone jako A (do oddziaływań lub efektów oddziaływań), M (do parametrów geotechnicznych) i R (do oporów lub nośności). Wyboru zestawów dokonuje się w zależności od stosowanego podejścia obliczeniowego (tab. 1)

Tabela 1. Rodzaje podejść obliczeniowych [Pieczyrak 2009, 2015, Bond i in. 2013]
 Table 1. Summary of the design approaches [Pieczyrak 2009, 2015, Bond et al. 2013]

Wyszczególnienie Specification	Podejście obliczeniowe – Design approach				
	DA1		DA2		DA3
Kombinacja Combination	1	2	2	2 ^a	3
Współczynnik częściowy zastosowany do: Partial factor applied to:	oddziaływania lub efektów oddziaływań actions or effects	parametrów geotechnicznych material properties	oporów i nośności actions and resistance	efektów oddziaływań i oporów effects of action and resistance	oddziaływań strukturalnych i oporów structural action and resistance
Zestawy Sets	<u>A1</u> +M1+R1 ^b	A2+ <u>M2</u> +R1 ^b	<u>A1</u> +M1+ <u>R2</u> ^b	<u>A1</u> +M1+ <u>R2</u> ^b	<u>A1</u> / <u>A2</u> + <u>M2</u> +R3 ^b

^aZestawy A1–A2 – współczynnik do oddziaływań / efekty oddziaływań – Sets A1–A2 – factors on actions / effects of action.

Zestawy M1–M2 – współczynnik do parametrów geotechnicznych – Sets M1–M2 – factors on material properties.

Zestawy R1–R3 – współczynnik do oporów – Sets R1–R3 – factors on resistances.

^bW podkreślonych zestawach współczynniki są większe niż 1,0 – in underlined sets factors are > 1.0

OPIS OBIEKTU

Analizowanym obiektem Kampusu SGGW jest parking podziemny zlokalizowany w odległości około 10 m od budynku Wydziału Leśnego, Technologii Drewna, Zastosowań Informatyki i Matematyki i w bezpośrednim sąsiedztwie budynku Wydziału Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu. Teren parkingu SGGW położony w południowej części Warszawy, w gminie Ursynów, ogranicza od północnego wschodu ulica Nowoursynowska, od południowego zachodu aleja J. Rodowicza „Anody”, od południowego wschodu ulica Ciszewskiego, a od północnego zachodu teren fortów (objęty ochroną konserwatorską), za którym biegnie Dolina Służewiecka. W odległości około 600 m od terenu działki budowlanej, w kierunku na północny wschód, przebiega krawędź skarpy wiślanej (tereny ochrony przyrodniczej). W odległości około 900 m na południowy zachód przebiega linia metra. Parking składa się z kondygnacji nadziemnej i podziemnej.

Charakterystyka budowy geologicznej obszaru pod obiektem „Parking SGGW”

Budowa geologiczna terenu, na którym znajduje się kampus SGGW na Ursynowie, jest złożona. Kampus znajduje się w granicy wysoczyzny morenowej, posiadającej płaską przeobrażoną antropogenicznie powierzchnię. Wysoczyzna opada spadzistą skarpą na wschód od terenu SGGW na poziom tarasu wyższego – praskiego doliny Wisły [Sarnacka 1976, 1992]. Podłoże czwartorzędowego osadu, czyli ily plioceńskie, tworzą glacictoniczną kulminację w rejonie przyskarpowej doliny Wisły. Nad iłami plioceńskimi znajdują się osady preglacjalne, które wykształciły się w postaci żwirów kwarcowych z litydami i piasków oraz mulków. Osady te uczestniczą w zaburzeniach w strefie przyskarpowej [Różycki i Sujkowski 1936, Morawski 1984]. Powyżej osadów preglacjalnych wysoczyzny ursynowskiej znajdują się utwory glacialne zlodowceń południowopolskich (np. gliny zwałowe) [Dokumentacja geotechniczna... 2001].

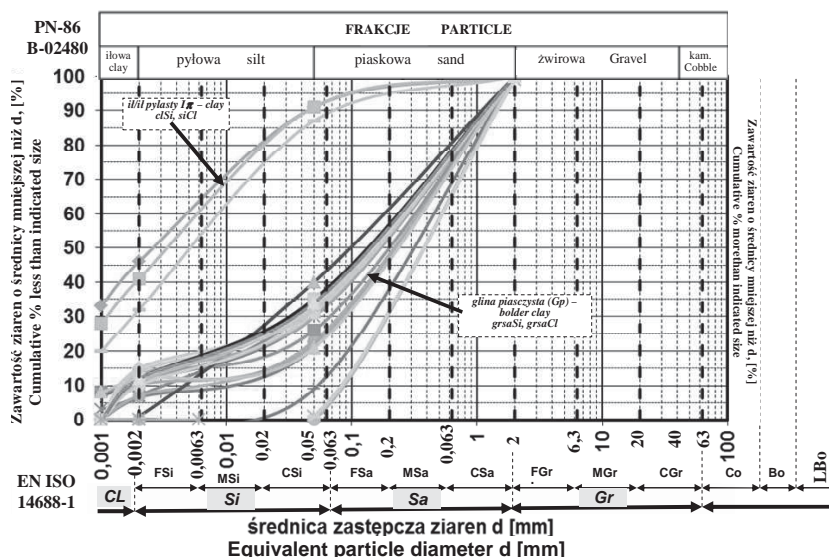
Poziom wodonośny na tym obszarze tworzą piaski rzeczne interglacjału mazowieckiego. Kierunek spływu wód podziemnych odbywa się z południowego wschodu na północny zachód, a współczynniki filtracji tych osadów kształtują się w granicy $1 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [Wienclaw i in. 1996].

Charakterystyka geotechniczna obszaru pod obiektem „Parking SGGW”

Głównymi kryteriami geotechnicznymi podziału podłoża obiektu budowlanego na warstwy geotechniczne są parametry geotechniczne, czyli wielkości, które charakteryzują cechy (właściwości) gruntu i jego zachowanie się w przypadku działania w przeszłości, teraźniejszości i przyszłości określonych czynników zewnętrznych i wewnętrznych (obciążenie, uwilgotnienie itp.), uwzględniając charakterystykę geologiczno-inżynierską. Parametry geotechniczne gruntów zostały ustalone na podstawie badań polowych i laboratoryjnych lub innych odpowiednich danych i zinterpretowane w sposób właściwy dla rozpatrywanego stanu granicznego. Przed interpretacją gruntów przeprowadzono badanie makroskopowe i opisano je zgodnie z przyjętą klasyfikacją. Podczas projektowania geotechnicznego, przed podziałem na warstwy geotechniczne i ustaleniem ostatecznych wartości parametrów geotechnicznych, zebrano obszernie dane na temat projektowanego obiektu (np. wymiary, obciążenia) oraz przeprowadzono wizje terenowe, które obejmowały między innymi: informacje o wodach gruntowych, historię terenu, geologię terenu, lokalne doświadczenia na danym obszarze oraz trudności podczas wykopów [Dokumentacja geotechniczna... 2001].

Na całym badanym terenie stwierdzono występowanie gruntów zastoiskowych, w skład których wchodzi: ily, gliny piaszczyste i piaski gliniaste oraz piaski drobne. Iły występujące w rejonie otworu OW-7 zawierają 32–46% frakcji iłowej, 45–55% frakcji pyłowej i 9–13% frakcji piaszkowej. Gliny piaszczyste i piaski gliniaste (zastoiskowe) zawierają 10–16% frakcji iłowej, około 20% frakcji pyłowej i 63–70% frakcji piaszkowej.

Wyniki badań areometrycznych pozwalają stwierdzić, że występujące poniżej utworów zastoiskowych grunty drobnoziarniste to głównie gliny piaszczyste (G_p) zawierające: frakcji piaszkowej od 58 do 70%, frakcji pyłowej od 20 do 30% i frakcji iłowej od 10 do 15%. Poza glinami piaszczystymi stwierdzono występowanie pyłów piaszczystych (OW – 4, gł. 5,0 m). Porównując wyniki badań glin piaszczystych brązowych i glin piaszczystych szarych, można stwierdzić, że grunty te charakteryzują się podobnym uziarnieniem (rys. 2).

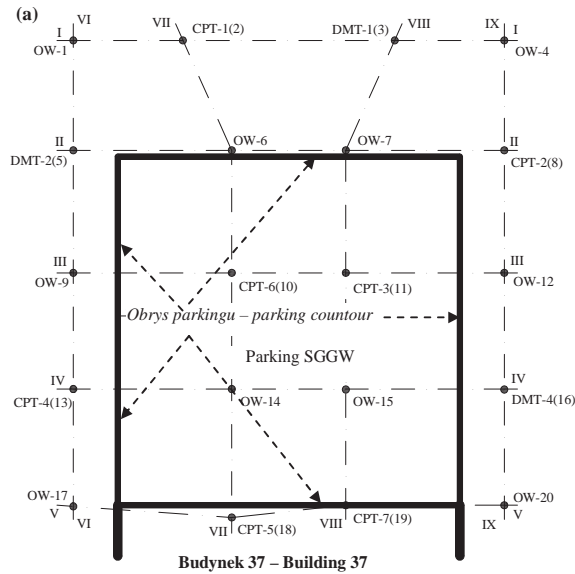


Rys. 2. Wykresy krzywych uziarnienia badanych gruntów pod parkingiem SGGW w Warszawie
 Fig. 2. Charts of grain size distribution of subsoil under SGGW Parking in Warsaw

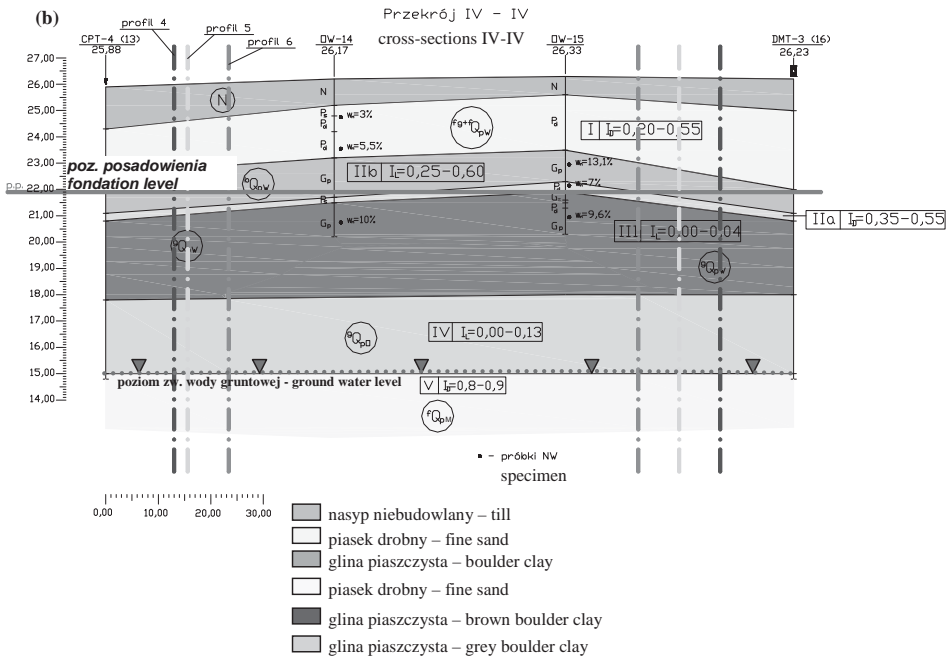
Piaski zalegające w głębszej części podłoża pod gruntami drobnoziarnistymi to piaski drobne (P_d) [Dokumentacja geotechniczna... 2001, Lipiński i Wdowska 2014].

Biorąc pod uwagę właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów, na terenie Kampusu SGGW wydzielono w podłożu 5 warstw geotechnicznych. Warstwę I tworzą utwory fluwioglacjalne zlodowacenia Warty (${}^f Q_p W$) – piaski średnie i drobne, średnio zagęszczone o wartościach stopnia zagęszczenia (I_D) w zakresie 0,35–0,55 oraz piaski gliniaste i gliny piaszczyste, jak również pyły w stanie twardoplastycznym o wartościach stopnia plastyczności (I_L) od 0,15 do 0,20. Warstwę II stanowią osady ablacyjne lądolodu zlodowacenia Warty (${}^b Q_p W$) – piaski średnie i drobne średnio zagęszczone o $I_D = 0,3–0,5$ oraz gliny piaszczyste (spływowe) i piaski gliniaste w stanie twardoplastycznymi o $I_L = 0,0–0,20$ oraz w stanie plastycznym o $I_L = 0,25–0,54$. Warstwa III to brązowa glina glacialna z okresu zlodowacenia Warty (${}^g Q_p W$) – gliny piaszczyste w stanie twardoplastycznym o wartościach I_L od 0,0 do 0,11. Warstwa IV z kolei to szara glina glacialna z okresu zlodowacenia Odry (${}^g Q_p O$) – gliny piaszczyste z gładzikami, w stanie twardo plastycznym o wartościach I_L od 0,0 do 0,12. Warstwy III i IV są podobne pod względem plastyczności, ale wyraźnie różnią się zawartością frakcji piaskowej. Gliny piaszczyste warstwy III zawierają kilka procent więcej frakcji piaskowej, co łącznie z analizą wyników sondowań CPT i DMT było podstawą propozycji rozdzielenia tych warstw w podłożu. Warstwę V stanowią osady rzeczne interglacjalu mazowieckiego (${}^f Q_p M$) – piaski drobne i średnie, w stopie warstwy bardzo zagęszczone o $I_D = 0,8–0,9$ [Dokumentacja geotechniczna... 2001]. Uziarnienie badanych łą przedstawił na rysunkach 2 i 3.

Wartość parametrów geotechnicznych wykorzystanych w obliczeniach przyjęto z badań geotechnicznych. Dla każdej warstwy edometryczny moduł ściśliwości wtórnej (M) przyjęto jako wartość średnią z proponowanych zakresów. Parametry wykorzystane w obliczeniach przedstawiono w tabeli 2.



OW – wiercenie – borehole
 CPT – sondowanie sondą statyczną – Cone penetration tests
 DMT – badanie dylatometrem Marchettiego – dilatometer of Marchetti tests



Rys. 3. Rozmieszczenia przekrojów geotechnicznych: a – schemat, b – typowy przekrój geotechniczny (N – grunt nasypowy, G_p – glina piaszczysta, P_d – piasek drobny, w_n – wilgotność naturalna, I_D – stopień zagęszczenia, I_L – stopień plastyczności)

Fig. 3. Localization of geotechnical cross-sections: a – scheme, b – typical geotechnical cross section (N – fill, G_p – sandy clay, P_d – fine sand, w_n – moisture content, I_D – relative density, I_L – liquidity index)

Tabela 2. Wartości parametrów geotechnicznych wykorzystane w obliczeniach według PN-81/B-03020

Table 2. The values of geotechnical parameters used in the calculation according to PN-81/B-03020

Numer warstwy geotechnicznej Number of geotechnical layer	Gęstość objętościowa Bulk density $\rho \setminus \rho^{(n)} \setminus \rho^{(r)}$ [t·m ⁻³]	Ciężar objętościowy Volume weight γ [kN·m ⁻³]	Spójność efektywna Cohesion efective $c \setminus c^{(n)} \setminus c^{(r)}$ [kPa]	Efektywny kąt tarcia wewnętrzznego Effective internal friction angle $\varphi \setminus \varphi^{(n)} \setminus \varphi^{(r)}$ [°]	Moduł ściśliwości wtórnej Recompression Modulus M [MPa]
N (Nasyp niebudowlany) (Fill)	–	–	–	–	–
I (Piaski glaci-fluwialne i fluwialne) (Fluvioglacial and fluvial sands)	1,7 \ 1,70 \ 1,53	16,68	–	30 \ 30,0 \ 27,0	40
IIa (Piaski zastoiskowe) (Sands dammed)	1,7 \ 1,70 \ 1,53	16,68	–	30 \ 30,0 \ 27,0	40
IIb (Gлина zastoiskowa – brązowa) (Clay dammed – brown)	2,0 \ 2,0 \ 1,80	19,62	0	20 \ 20,0 \ 18,0	10
IIc (Iły zastoiskowe) (Dammed clays)	2,0	19,62	10	19	15
III (Gлина zwałowa – brązowa) (Boulder clay – brown)	2,2 \ 2,20 \ 1,98	21,58	10 \ 10,0 \ 9,0	28 \ 28,0 \ 25,20	75
IV (Gлина zwałowa – szara) (Boulder clay – gray)	2,2 \ 2,20 \ 1,98	21,58	10 \ 10,0 \ 9,0	28 \ 28,0 \ 25,20	60
V (Piaski fluwialne) (Fluvial sands)	1,85 \ 1,85 \ 1,67	18,15	–	35 \ 35,0 \ 31,50	100

Przy wyznaczaniu ciężaru objętościowego poszczególnych warstw przyjęto przyspieszenie ziemskie (g) równe 9,81 m·s⁻².

WYNIKI BADAŃ – OCENA WARUNKÓW POSADOWIENIA ANALIZOWANEGO OBIEKTU NA PODSTAWIE NORM PN-81/B-03020 I EC7

Opis konstrukcyjny analizowanego obiektu. Fundamenty żelbetowe wylewane na mokro z betonu B-25, stali A-III i A-0. Przyjęto wymiary środkowych stóp: 2,70 × 2,70 × 0,50 m; przyjęto wymiary zewnętrznych stóp: 2,30 × 2,30 × 0,40 m; przyjęto ławę fun-

damentową szerokości 0,60 m i grubości 0,25 m; wzdłuż budynku B30 kampusu SGGW przyjęto ławę fundamentową w kształcie litery „L” ze ścianą żelbetową o grubości 0,25 m. Zastosowano zbrojenie dołem od strony istniejącego budynku $\varnothing 16$ co 15 cm, od góry i od strony parkingu $\varnothing 12$ co 12 cm. Szerokość 0,60 m i grubość 0,25 m.

Obliczenia według norm PN-81/B-03020 i EC7, wykonywane w niniejszym artykule, mają na celu sprawdzenie, czy możliwe jest posadowienie wszystkich fundamentów parkingu na poziomie 21,90 m nad „0” Wisły. Sprawdzenie to wykonano z uwagi na lokalne występowanie gruntów o słabszych parametrach, które mogą zagrozić stateczności konstrukcji parkingu. Sprawdzając stan graniczny (*ULS*) poszczególnych fundamentów według EC7, zastosowano podejścia DA2: A1 + M1 + R2 i DA3: A1 + M2 + R3 (tab. 3). Pierwszym etapem było sprawdzenie I stanu granicznego w wybranych miejscach, a następnie w przypadku uzyskania obliczeniowego oporu gruntu większego od obliczeniowego obciążenia wyznaczano wartość średnich osiadań dla poszczególnych fundamentów (sprawdzenie II stanu granicznego, *SLS*). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Porównanie wyników z PN-81/B-03020 i Eurokodem 7
Table 3. Comparison of the results with PN-81 / B-03020 and Eurocode 7

PN-81/B-03020	Eurokod 7 – Eurocode 7	
	Podejście Design approach DA2: A1+M1+R2	Podejście Design approach DA3: A1+M2+R3
$m \cdot Q_{fNB} / Q_r$	R_d / V_d^a	R_d / V_d
Profil: 4, Przekrój: IV–IV, Posadowienie: IIb na 21,90 m nad „0” Wisły, Fundament: ława obciążona osiowo Profile: 4, Section: IV–IV, Foundation: IIb at 21.90 m above the „0” Vistula, Foundation: axially loaded bench		
1,22	0,78	0,57
Osiadanie, s [cm] Settlement, s [cm]	1,93	–
Profil: 5, Przekrój: IV–IV, Posadowienie: IIb na 21,90 m nad „0” Wisły, Fundament: 2,30×2,30×0,40 m Profile: 5, Section: IV–IV, Foundations: IIb at 21.90 m above the „0” Vistula, Foundation: 2.30×2.30×0.40 m		
1,32	0,76	0,54
Osiadanie, s [cm] Settlement, s [cm]	4,34	–
Profil: 6, Przekrój: IV–IV, Posadowienie: IIb na 21,90 m nad „0” Wisły, Fundament: 2,70×2,70×0,50 m Profile: 6, Cross-section IV–IV, Foundation: IIb at 21.90 m above the „0” Vistula, Foundation: 2.70×2.70×0.50 m		
1,28	0,76	0,53
Osiadanie, s [cm] Settlement, s [cm]	4,90	–
Profil: 5, Przekrój: IV–IV, Posadowienie: III na 21,05 m nad „0” Wisły, Fundament: 2,30×2,30×0,40 m Profile: 5, Section: IV–IV, Foundation: III at 21.05 m above the „0” Vistula, Foundation: 2.30×2.30×0.40 m		
4,65	3,57	2,28
Osiadanie, s [cm] Settlement, s [cm]	1,03	1,94

^a V_d – wartość obliczeniowa składowej pionowej obciążenia (V).

Dopuszczalna wartość osiadań (s_{dop}) wynosi 7,0 cm.

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Analizując przekroje geotechniczne, można od razu stwierdzić, iż najgorsze dla posadawiania fundamentów są miejsca, gdzie występuje duża miąższość warstwy geotechnicznej IIb (głina zastoiskowa – brązowa), oraz miejsca z niższym posadowieniem płyty dolnej parkingu – mniejsza wartość nadkładu. Wykonując sprawdzenie według PN-81/B-03020 w przekroju geotechnicznym IV–IV, można stwierdzić, że każdy rodzaj fundamentu spełnił warunek obliczeniowy I stanu granicznego. Podobnie jak we wcześniejszych przypadkach założony tu poziom posadowienia wynosił 21,90 m nad „0” Wisły (warstwa geotechniczna IIb). Jednak w tych miejscach w skład nadkładu w większej ilości wchodzi grunt IIb, który jest cięższy od gruntu I (piaski glacyfluwialne i fluwialne) i płyta dolna jest tu posadowiona wyżej. Te dwa czynniki mają bezpośredni wpływ na wartość $\rho_D^{(r)}$, a co za tym idzie – na cały odpór graniczny. Wykonano także sprawdzenie przypadków, dla których poziom posadowienia poszczególnych rodzajów fundamentów został obniżony tak, aby dotrzeć do warstwy geotechnicznej III (głina zwałowa – brązowa). Wartości obniżeń wynosiły odpowiednio: stopa $2,30 \times 2,30 \times 0,40$ m – 0,85 m, stopa $2,70 \times 2,70 \times 0,50$ m – 0,08 m oraz ława obciążona osiowo – 0,22 m. W związku z tym zabiegiem otrzymano grunt, który w poziomie posadowienia charakteryzuje się większym efektywnym kątem tarcia wewnętrznego φ' oraz spójnością, w przeciwieństwie do warstwy IIb, która tej spójności nie miała. Jak pokazują przedstawione wyniki, dzięki posadowieniu fundamentów na warstwie III otrzymuje się znaczny przyrost oporu granicznego gruntu, uzyskując w ten sposób duży zapas pewności. Analizując wyniki osiadań, można stwierdzić, że dla wszystkich przypadków, w których został spełniony warunek I stanu granicznego, nie przekroczyły one wartości dopuszczalnej. Jednak jeżeli posadowi się fundamenty na warstwie III, to otrzyma się wartości zdecydowanie mniejsze, przez co w konstrukcji wystąpią mniejsze naprężenia, a co za tym idzie – mniejszy się ryzyko wystąpienia awarii.

Na podstawie obliczeń wykonanych zgodnie z Eurokodem 7 można stwierdzić, że żaden z fundamentów parkingu nie może zostać posadowiony w warstwie IIb. To stwierdzenie dotyczy zarówno obliczeń opartych na podejściu DA2, jak i na DA3. W miejscu najgorszym do posadawiania (21,90 m nad „0” Wisły) największa wartość ilorazu R_d / V_d wyniosła 0,59 (DA2) i 0,41 (DA3) dla stopy $2,30 \times 2,30 \times 0,40$ m i dla stopy $2,70 \times 2,70 \times 0,50$ m. W pozostałych profilach zakładających posadowienie w warstwie IIb i na poziomie 21,90 m nad „0” Wisły warunek I stanu granicznego też nie został spełniony, mimo iż w tych miejscach odległość od posadowienia fundamentu do posadowienia płyty dolnej była większa niż uprzednio. W miejscach, w których zaproponowano obniżenie poziomu posadowienia na strop III warstwy geotechnicznej, warunek I stanu granicznego został spełniony (z zapasem), a największa wartość osiadań wyniosła 2,57 cm dla stopy $2,70 \times 2,70 \times 0,50$ m.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań wykazały, że posadowienie obiektu budowlanego w warstwie IIb nie jest zalecane ze względu na znaczne zwiększenie oporu granicznego gruntu oraz zdecydowane zmniejszenie wartości osiadań.

W przypadku obliczeń wykonanych zgodnie z Eurokodem 7 także nie zaleca się posadowienia obiektu w warstwie IIb (zarówno dla podejścia DA2, jak i DA3). Największa wartość ilorazu R_d/V_d dla obliczeń wykonanych dla tej warstwy wyniosła 0,78 (DA2) dla ławy obciążonej osiowo i 0,57 dla samego fundamentu.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że w warstwie geotechnicznej IIb zgodnie z PN-81/B-03020, w niektórych przypadkach jest możliwe posadowienie obiektu budowlanego.

Dla warstwy geotechnicznej III uzyskano przewagę oporu granicznego gruntu nad przekazywanym obciążeniem, co jest istotną przesłanką dla możliwości posadowienia na tym poziomie obiektu budowlanego. Za możliwością tą przemawia także fakt, że w większości przypadków obniżenie nie będzie większe niż jeden metr.

Posadowienie płyty dolnej obiektu budowlanego odbyło się na dwóch poziomach. Płyty te zostały posadowione bezpośrednio na gruncie, co zapobiegło przekazywaniu ich ciężaru poprzez słupy na poszczególne fundamente. Jednak, co widać na przekrojach, lokalnie poziom posadowienia może sięgnąć warstwy geotechnicznej IIc. Dlatego też istnieje niebezpieczeństwo pęcznienia gruntu pod fundamentami w przypadku jego uwilgotnienia (np. wodą opadową z nieszczelnego systemu odwodnień). W celu zabezpieczenia przed tym konstrukcji można zastosować pod płytę izolację ze styropianu, warstwę pospółki bądź dokonać w tym miejscu wymiany gruntu.

ADNOTACJA

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2012–2015 z projektu badawczego NCN: UMO-2011/03/D/ST8/04309.

PIŚMIENNICTWO

- Bond, A.J., Schuppener B., Scarpelli, G., Orr, T.L.L. (2013). Eurocode 7: Geotechnical Design. Worked examples. Workshop "Eurocode 7: Geotechnical Design", JRC Scientific and Policy Reports, 13–14 June 2013, Dublin.
- Dokumentacja geotechniczna dla projektowanego parkingu SGGW w Warszawie (2001). Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- EN ISO 14688-1: 2006 Badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1. Oznaczenie i opis.
- EN ISO 14688-2: Badanie geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2. Zasady klasyfikowania.
- Grabowski, Z., Pisarczyk, S., Obrycki, M. (2005). Fundamentowanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Lipiński, M., Wdowska, M. (2014). Wpływ zawartości frakcji drobnej na charakterystyki konsolidacyjne i ściśliwość gruntów ziarnistych. Acta Sci. Pol. Architectura 13 (4), 113–124.
- Morawski, M. (1984). Osady wodnomorenowe. Prace Instytutu Geologicznego, 108.
- Obrycki, M., Pisarczyk, S. (2005). Wybrane zagadnienia z fundamentowania. Przykłady obliczeń. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Parking Główny SGGW przy ul. Nowoursynowskiej w Warszawie. Projekt: „AQUA – INWEST” Spółka z o.o. Projekt Budowlany – Część 2: Konstrukcja.

- Pieczyrak, J. (2009). Stany graniczne i warunki obliczeniowe w geotechnice. Materiały XXIV Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji, 17–20.03.2009, Wisła, 1, 47–65.
- Pieczyrak, J. (2015). Obliczenie osiadań według zaleceń Eurokodu 7. Inżynieria Morska i Geotechnika, 3, 543–546.
- PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowe.
- PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
- Puła, W., Zaskórski, Ł. (2015). On some methods in safety evaluation in geotechnics. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 37, 2.
- Różycki, S.Z., Sujkowski, Z. (1936). Profile geologiczne przez Warszawę. Zarząd Miejski w Warszawie, 1936.
- Sarnacka, Z. (1976). Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Piaseczno. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Sarnacka, Z. (1992). Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Prace PIG*, 138.
- Wienclaw, E., Siwiec, T., Grundwald, P., Morawski, D. (1996). Jakość wód podziemnych ujmowanych w Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej SGGW na Ursynowie. *Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska*, 9, 39–50.

ESTIMATION OF BEARING CAPACITY OF SUBSOIL UNDER FOUNDATIONS TWO LEVELS OF UNDERGROUND PARKING WULS – SGGW

Abstract. The main goal of this paper is to verify the design foundation of the underground SGGW parking. The design foundation assumption was to found all foundations at level of 21.90 over “0” Vistula. Considering the heterogeneous subsoil on foundation zones the verification was undertaken. It was concluded that each foundation should be designed individually. The assessment of design foundation conditions included calculations of ultimate limit state and serviceability limit state was performed. As the calculation results the value of settlement, in accordance with Polish standards PN-81/B-03020 and Eurocode 7 were determined. Calculation results indicated that the foundation at level of 21.90 m above “0” Vistula in IIb geotechnical layer is impossible due to the fail of foundation obtained from both standards applied.

Key words: PN-81/B-03020, Eurocode 7, shallow foundation, limit states

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.12.2015

Cytowanie: Rabarijoely, S. (2015). Ocena nośności podłoża gruntowego pod fundamentami dwupoziomowego parkingu podziemnego SGGW. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 14 (4), 75–86.