

## Spis treści

1. Wstęp.
2. Charakterystyka projektowanej inwestycji.
3. Opis wykonanych badań podłoża.
4. Opis modelu budowy geologicznej i warunki gruntowe.
5. Warunki hydrogeologiczne.
6. Wnioski i obliczenia końcowe

### *OPINIA GEOTECHNICZNA*

- 6.1. Ustalenie przydatności gruntów dla potrzeb lokalizacji budownictwa.
- 6.2. Określenie typu warunków gruntowych.
- 6.3. Wskazanie kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego.

### *PROJEKT GEOTECHNICZNY*

- 6.4. Obliczenie nośności podłoża gruntowego i ogólnej stateczności.

## Spis załączników

1. Mapa dokumentacyjna w skali 1:500.
2. Zestawienie wyników badań terenowych.
3. Przekrój geotechniczny w skali poziomej 1:200 i pionowej 1:100.
4. Model obliczeniowy podłoża gruntowego.

## 1. WSTĘP.

Badania podłoża gruntowego przeprowadziło Biuro Geologii i Sozologii „GEOTECHNIKA” w Łowiczu, w lipcu 2016r. Wykonane prace, stosownie do wymogów rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r., Nr 0, poz.463), miały na celu:

- dla sporządzenia **dokumentacji badań podłoża gruntowego**, stosownie do § 9 w/w rozporządzenia:
  - opis metodyki badań podłoża gruntowego,
  - przedstawienie modelu geologicznego podłoża gruntowego,
  - przedstawienie wyników badań podłoża gruntowego i ich interpretację,
  - określenie wyprowadzonych wartości danych geotechnicznych dla wydzielonych warstw geotechnicznych podłoża,
  
- dla opracowania **opinii geotechnicznej**, stosownie do § 8 w/w rozporządzenia:
  - ustalenie przydatności gruntów dla potrzeb lokalizacji budownictwa,
  - wskazanie kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego,
  
- dla opracowania **projektu geotechnicznego**, stosownie do § 10 w/w rozporządzenia:
  - prognozy zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie,
  - określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych,
  - określenie projektowego przekroju geotechnicznego,
  - obliczenie nośności podłoża gruntowego,
  - określenie pozostałych elementów wymienionych w § 10 w/w rozporządzenia.

**Przedmiotowe** opracowanie spełnia warunki opinii geotechnicznej, dokumentacji badań podłoża gruntowego oraz projektu geotechnicznego, w rozumieniu § 7 ust. 1 i ust. 2 rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. z 2012 r., Nr 0, poz. 463).

## 2.CHARAKTERYSTYKA PROJEKTOWANEJ INWESTYCJI.

Badania wykonano w południowo-zachodnim krańcu działki nr 155/4 położonej w południowej części miejscowości Krze Duże, gmina Radziejowice. Jet to teren położony bezpośrednio na zachód od drogi lokalnej biegnącej od drogi ekspresowej S8 do wsi Kamionka, ok. 850m na południe od S8. Lokalizację terenu badań ilustruje **załącznik graficzny nr 1**.

Projektowane jest posadowienie w strefie głębokości 1,0 -1,2 m ppt. nadpoziomowego zbiornika wyrównawczego o konstrukcji monolitycznej, żelbetowej, służącego do magazynowania wody. Będzie on posadowiony na zbrojonej płycie fundamentowej, kołowej o średnicy  $D=7,52m$ .

## 3. OPIS WYKONANYCH BADAŃ PODŁOŻA.

Miejsca wykonania otworów rozpoznawczych zostały wyznaczone metodą domiarów prostokątnych, na podstawie istniejących szczegółów terenowych, w oparciu o mapę sytuacyjno - wysokościową w skali 1:500. Rzędne punktów badawczych określono metodą interpolacji na podstawie punktów o wysokościach określonych według mapy dokumentacyjnej.

W ramach badań wykonano 2 otwory badawcze do głębokości 4,0 m ppt. każdy, o sumarycznym metrażu 8,0 mb. Wiercenia wykonano za pomocą wiertnicy mechanicznej Bo-art Longyear DB 050, z użyciem narzędzi o średnicy 90 mm.

Podczas wierceń wykonywano badania makroskopowe gruntu, badania polowe za pomocą ścinarki obrotowej SO-1 i penetrometru wciskowego PW-1 oraz obserwacje hydrogeologiczne. Otwory zlikwidowano uzyskanym urobkiem.

Wyniki badań polowych opracowano w formie dokumentacji badań podłoża gruntowego zawierającej elementy wymagane dla opinii geotechnicznej i projektu geotechnicznego, stosownie do § 8 ÷ 10 rozporządzenia MTBiGM z dnia 25 kwietnia 2012 r. w *sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* (Dz. U. z 2012 r., Nr 0, poz. 463).

#### **4.OPIS MODELU BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKI GRUNTOWE.**

Teren badań pod względem geologiczno - strukturalnym położony jest w osiowej części Niecki Warszawskiej, wypełnionej osadami kredy górnej i paleocenu, pod którymi występują skały permu, triasu i jury, budujące Platformę waryscyjską. W stropie tych utworów, w okresie górotwórczych ruchów laramijskich powstała rozległa depresja wypełniona osadami od eocenu do pliocenu, tworząc tzw. Nieckę Mazowiecką. W okresie czwartorzędu utwory serii górnokredowej i trzeciorzędowej zostały pokryte płaszczem osadów czwartorzędowych.

Teren przedsięwzięcia położony jest pod względem geomorfologicznym we wschodniej części Równiny Łowicko – Błońskiej, u podnóża tzw. Krawędzi Nadarzyńskiej. Jest to obszar przejścia zdenudowanej wysoczyzny polodowcowej w obręb płaskiej równiny denudacyjno - aluwialnej ukształtowanej przez procesy denudacyjne w strefie peryglacjalnej okresu zlodowacenia Wisły i podkreślonej równoleżnikowym przebiegiem doliny rzeki Pisi stanowiącą w tym obszarze lokalną pradolinę wytworzoną w okresie fazy Mszczonowa stadiu Piliicy zlodowacenia Warty.

Utwory czwartorzędowe mają podstawowe znaczenie dla budowy geologicznej i rzeźby współczesnej powierzchni terenu. Osiągają one miąższość w granicach 30 - 70 m i są to głównie osady plejstoceny głównie o genezie lodowcowej i wodnolodowcowej pokryte nieciągłym płaszczem utworów holoceny. Ich bezpośrednim podłożem jest miąższa seria ilasta pliocenu. Ponad ilami pliocenu zalega miąższa seria plejstocenu składająca się generalnie z dwóch lub trzech kompleksów utworów glacialnych i limnoglacialnych (glin zwałowych lub mułków i iłów), deponowanych w okresie zlodowaceń południowopolskich oraz zlodowaceń środkowopolskich. Kompleksy te rozdzielone są generalnie jedną serią piaszczysto - żwirową akumulowaną w interglacjale wielkim, pomiędzy wymienionymi wyżej okresami zlodowaceń. Bezpośrednio ponad młodszym kompleksem glin zwałowych zalega pokrywa napływowa akumulowana w okresie ostatniego zlodowacenia - zlodowacenia Wisły w wyniku silnej denudacji położonej na południu warciańskiej wysoczyzny polodowcowej, którą zamykają późnoplejstoceny utwory rzeczne i rzeczno – zastoiskowe, których rozprzestrzenienie ograniczone jest do dolin cieków wodnych, w przypadku badanego terenu do doliny rzeki Pisi.

W podłożu terenu projektowanego zbiornika przebadanym do głębokości 4,0 m ppt. stwierdzono występowanie **serii utworów lodowcowych stadiału Pilicy** zlodowacenia Warty –  $g^l Q^{Wa}_p^3$ , zwietrzałych w stropie do postaci glin eluwialnych tworzących **serię utworów eluwialnych strefy peryglacjalnej** zlodowacenia Wisły –  $el Q^{Wi}_p^3$ , przykrytych **serią pokrywowych piasków aluwialnych** zlodowacenia Wisły –  $al Q^{Wi}_p^3$ . Pomiędzy glinami eluwialnymi a glinami morenowymi zalega **seria piasków wodnolodowcowych okresu stadiału Pilicy** zlodowacenia Warty –  $fg Q^{Wa}_p^3$ . Strop terenu przykrywa warstwa **mezoholocenijskich eluwiów organicznych** – gleb (humusu) okresu atlantyckiego –  $el Q^{At}_H^2$ , lokalnie zastąpiona serią **współczesnych nasypów antropogenicznych** –  $an Q^{Sa}_H^3$ .

W północno-zachodniej części terenu (otwór nr 2) bezpośrednio na powierzchni zalega cienka warstwa mezoholocenijskich eluwiów organicznych, tworzących wierzchnią, próchniczną warstwę gleby o miąższości 0,3 m. W otworze nr 1 warstwa gleby została zastąpiona serią współczesnych nasypów antropogenicznych o miąższości 0,5m. Są to nasypy niekontrolowane zbudowane z humusu wymieszanego z piaskiem drobnym.

Poniżej zalega ciągła, niezbyt miększa seria aluwialnych piasków pokrywowych zlodowacenia Wisły. Tworzą ją zaglinione, żółto-brązowe piaski średnie. Miąższość tych utworów wynosi 0,2m w otworze nr 2 oraz 0,9m w otworze nr 1.

Na głębokości 0,5 – 1,4 m ppt., poniżej warstwy piasków aluwialnych, występuje ciągła, niezbyt miększa seria eluwialnych glin strefy peryglacjalnej okresu zlodowacenia Wisły. Gliny te stanowią zwietrzelinę niżej zalegających glin zwałowych zlodowacenia Warty, powstałą w warunkach zimnego klimatu strefy peryglacjalnej, w wyniku wietrzenia mrozowego. Budują ją wyraźnie warstwowane, odwapnione gliny piaszczyste, barwy zielono – szarej. Miąższość serii glin eluwialnych wynosi 0,4m w otworze nr 1 oraz 0,7m w otworze nr 2.

Poniżej serii glin eluwialnych zalega ciągła, zmienno miększa warstwa piasków wodnolodowcowych okresu stadiału Pilicy zlodowacenia Wisły, której strop nawiercono na głębokości 1,2 – 1,8 m ppt. Budują ją szaro-brązowe piaski średnie, w otworze nr 1 z domieszką żwiru. Miąższość tych utworów wynosi 0,9m w otworze nr 1 oraz 2,2m w otworze nr 2.

Zrąb podłoża gruntowego buduje ciągła, miększa seria niezwieterzanych glin zwałowych stadiału Pilicy zlodowacenia Warty, której strop nawiercono na głębokości 2,7 – 3,4m ppt. Warstwę budują szaro-brązowe gliny piaszczyste, cechujące się ziemistą strukturą i

znaczną ponad 5% zawartością węgla wapnia. Utworów tych do głębokości rozpoznania, tj. 4,0m ppt, nie przewiercono.

Opisane wyżej serie litostratygraficzne deponowane są w rozpoznanym podłożu w sposób regularny i ciągły oraz nie wykazują przejawów zaburzeń glacictektonicznych. Model budowy geologicznej podłoża zilustrowano na **załączniku nr 4.0** i na przekroju geotechnicznym – **załącznik nr 3.0**.

## 5. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE.

W podłożu terenu przebadanym do głębokości 4,0 m ppt. stwierdzono występowanie wód gruntowych w postaci ciągłego poziomu wodonośnego, którego strefę wodonośną budują piaski wodnolodowcowe zalegające pod serią glin eluwialnych. Zwierciadło tego poziomu nawiercono bezpośrednio pod tymi glinami na głębokości 1,2 – 1,8 m ppt. (152,60 – 153,10 m npm). Seria glin eluwialnych stanowi dobrą barierę izolacyjną, co powoduje, że zwierciadło ma charakter naporowy a jego poziom piezometryczny w okresie wykonywania badań (lipiec 2016r.) kształtował się w strefie głębokości 0,87 – 1,01 m ppt., tj. w strefie rzędnych 153,39 – 153,43 m npm.

Stan wód gruntowych w okresie wykonywania badań należy uznać za stan średni w krótkookresowym cyklu wahań o charakterze kontynentalnym. W stanach wysokich zwierciadło piezometryczne rozpoznanego poziomu wodonośnego będzie kształtować się na głębokości 0,40 – 0,50m ppt., co wskazuje na konieczność zachowania ciągłości warstwy glin aby nie dopuścić do występowania wody gruntowej powyżej poziomu posadowienia. W stanach niskich natomiast zwierciadło piezometryczne stabilizować się winno na głębokości 1,40 – 1,50m ppt. co lokalnie, w rejonie otw. nr 2 może powodować zmianę zwierciadła na swobodne.

W okresie stanów wysokich – w czasie trwania roztopów lub intensywnych i długotrwałych opadów może ponadto dochodzić do okresowego tworzenia się horyzontu wodonośnego w warstwie piasków aluwialnych zalegających ponad stropem glin eluwialnych. Powoduje to podatność podłoża na stagnowanie wód opadowych w wykopach fundamentowych, co może powodować uplastycznianie podłoża w poziomie posadowienia i należy temu zjawisku przeciwdziałać poprzez pompowanie wody opadowej z dna wykopu.

## 6. WNIOSKI I OBLICZENIA KOŃCOWE.

### OPINIA GEOTECHNICZNA

#### 6.1. Ustalenie przydatności gruntów dla potrzeb lokalizacji budownictwa.

Warunki gruntowo - wodne w przebadanym podłożu terenu cechują się jednorodnością litogenetyczną, geodynamiczną i geomorfologiczną oraz hydrogeologiczną. Podłoże rodzime zbudowane jest z czterech serii litogenetycznych zalegających pod warstwą gleby oraz lokalnie nasypów i ma charakter wielowarstwowy.

W otworze nr 2 bezpośrednio na powierzchni terenu zalega cienka warstwa humusu (gruntów o kodzie Or wg normy PN-EN ISO 14688-1), o miąższości 0,3m. Grunty te znajdują się w stanie luźnym, przy średnim stopniu zagęszczenia szacowanym na  $I_D \sim 0,28$ . Są to grunty wymagające usunięcia spod fundamentów ze względu na słabą nośność i ich wysadzinowość. W otworze nr 1 warstwa gleby została zastąpiona serią gruntów nasypowych (gruntów o kodzie Mg wg normy PN-EN ISO 14688-1) o miąższości 0,5m. Są to ziemno – piaszczyste nasypy o niekontrolowanym zagęszczeniu, znajdujące się w stanie średniozagęszczonym, przy średnim stopniu zagęszczenia  $I_D \sim 0,40$ . Grunty te są nieprzydatne dla posadawiania obiektów budowlanych bez wzmocnienia, ze względu na anizotropowość składu i zawartość części organicznych. W przypadku analizowanego przedsięwzięcia spąg warstwy gleby oraz gruntów nasypowych zalega powyżej potencjalnego poziomu posadowienia zbiornika, zatem nie mają one żadnego znaczenia dla warunków jego posadowienia.

Poniżej głębokości 0,3 – 0,5m ppt. na całym badanym terenie zalega ciągła, niezbyt miększa seria gruntów nieskalistych, rodzimych, mineralnych, sypkich, drobnoziarnistych. Są to aluwialne piaski średnie (grunty o kodzie MSa wg normy PN-EN ISO 14688-1), znajdujące się w stanie średniozagęszczonym, przy stopniu zagęszczenia równym  $I_D = 0,50$ . Wydzielono je jako warstwę geotechniczną **AL-1**. Miąższość tych utworów wynosi 0,2m w otworze nr 2 oraz 0,9m w otworze nr 1.

Pod piaskami aluwialnymi, na głębokości 0,5 – 1,4 m ppt., występuje ciągła, niezbyt miększa seria gruntów nieskalistych, rodzimych, mineralnych, średniospoistych, nieskonsolidowanych. Są to eluwialne gliny piaszczyste (grunty o kodzie saCl wg normy PN-EN ISO 14688-1), znajdujące się w stanie plastycznym, o uśrednionym stopniu plastyczności  $I_L = 0,32$  – wydzielono je w warstwę geotechniczną **EL-1**. Miąższość serii glin eluwialnych wynosi 0,4m

w otworze nr 1 oraz 0,7m w otworze nr 2.

Na głębokości 1,2 – 1,8 m ppt. nawiercono strop ciągłej, zmiennie miększej serii gruntów nieskalistych, rodzimych, mineralnych, sypkich, drobnoziarnistych. Są to wodnolodowcowe piaski średnie, w otworze nr 1 z domieszką żwiru (grunty o kodzie MSa, MSa+gr wg normy PN-EN ISO 14688-1), znajdujące się w stanie zagęszczonym, przy stopniu zagęszczenia określonym na  $I_p=0,68$ . Wydzielono je w warstwę geotechniczną **FG-1**. Miąższość tych utworów wynosi 0,9m w otworze nr 1 oraz 2,2m w otworze nr 2. Piaski te są nawodnione.

Zrąb podłoża gruntowego buduje ciągła, miększa seria gruntów nieskalistych, rodzimych, mineralnych, średniospoistych, morenowych, której strop nawiercono na głębokości 2,7m ppt. w otworze nr 1 oraz 3,4m ppt. w otworze nr 2. Warstwę budują gliny piaszczyste (grunty o kodzie saCl wg normy PN-EN ISO 14688-1), znajdując się w stanie twaroplastycznym, o uśrednionym stopniu plastyczności  $I_L=0,15$  – wydzielono je jako warstwę geotechniczną **GL-1**. Utworów tych do głębokości rozpoznania, tj. 4,0 m ppt., nie przewiercono.

Wody gruntowe występują w postaci ciągłego poziomu wodonośnego, charakteryzującego się zwierciadłem naporowym, które w okresie wykonywania badań stabilizowało się na głębokości 0,87 – 1,01 m ppt. (153,39 – 153,43 m npm). Strefę wodonośną budują piaski wodnolodowcowe zalegające pod serią glin eluwialnych, poniżej głębokości 1,2 – 1,8 m ppt. (152,60 – 153,10 m npm.).

Generalnie warunki gruntowo - wodne charakteryzujące podłoże gruntowe projektowanego obiektu są **przeciętnie korzystne** dla wykonywania bezpośrednich posadowień obiektów budowlanych. Decydują o tym :

- ◆ występowanie w podłożu gruntowym gruntów o średniej i dobrej nośności, przy braku gruntów słabonośnych;
- ◆ występowanie wody gruntowej poniżej poziomu potencjalnego posadowienia obiektu, przy założeniu zachowania ciągłości bariery izolacyjnej glin eluwialnych;

Opisane wyżej warunki decydują o **przydatności terenu dla potrzeb budownictwa**.

## 6.2. Określenie typu warunków gruntowych.

Stosownie do § 4 ust.2 pkt.1 rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków



*posadawiania obiektów budowlanych* (Dz.U. z 2012 r., poz.463) warunki gruntowe w podłożu należy sklasyfikować jako **proste warunki gruntowe**, ze względu na :

- położenie zwierciadła wód gruntowych poniżej potencjalnego poziomu posadowienia obiektu,
- brak w podłożu budowlanym i w strefie aktywnej gruntów słabonośnych i nienośnych,
- jednorodność genetyczną i litologiczną podłoża,
- brak zaburzeń tektonicznych i glacitektonicznych warstw geotechnicznych,
- brak niekorzystnych zjawisk geodynamicznych, w tym sufozyjności i obecności gruntów zapadowych.

### **6.3. Wskazanie kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego.**

Stosownie do § 4 ust. 3 pkt. 2 lit. a rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w *sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* (Dz.U. z 2012 r., Nr 0, poz.463), biorąc pod uwagę, że :

- warunki gruntowe mają charakter warunków prostych,
- projektuje się budowę obiektów budowlanych posadawianych bezpośrednio,

wskazuje się dla obiektu **DRUGĄ kategorię geotechniczną**.

## PROJEKT GEOTECHNICZNY

### 6.4. Obliczenie nośności podłoża gruntowego i ogólnej stateczności.

#### 6.4.1. Potencjalny sposób posadowienia i model obliczeniowy podłoża.

Ocena wyników badań zawartych w dokumentacji badań podłoża pozwala na stwierdzenie, że projektowany obiekt, posadowiony zostanie bezpośrednio w strefie głębokości 1,0 – 1,2m na warstwach geotechnicznych AL-1 – średniozagęszczonych, piaskach średnich i EL-1 – plastycznych glinach piaszczystych nieskonsolidowanych o stopniu plastyczności  $I_L=0,32$ . Zatem nośność warstwy EL-1 będzie wyznacznikiem nośności podłoża projektowanego obiektu.

Model obliczeniowy podłoża gruntowego przedstawiono w niniejszym opracowaniu jako **załącznik graficzny nr 4.0**. Uzupełnieniem tego modelu jest przekrój geotechniczny stanowiący **załącznik graficzny nr 3.0**.

#### 6.4.2. Określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa.

Współczynniki częściowe bezpieczeństwa do parametrów geotechnicznych wyprawadzonych wynoszą, wg tabeli NA.2. normy PN-EN 1997-1:2008/Ap2 - Współczynniki częściowe przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności (GEO) :

			Stany graniczne nośności – podejście 2		
			A1	M1	R2
Do oddziaływań	Stałe	Niekorzystne	1,35		
		Korzystne	1,00		
	Zmienne	Niekorzystne	1,50		
Do właściwości gruntu	dla tangensa kąta tarcia wewnętrznego $\phi_u$			1,00	
	dla spójności $c_u$			1,00	
	dla ciężaru objętościowego $\gamma$			1,00	
Do odporu gruntu	fundamenty bezpośrednie	wyparcie			1,4
		poślizg			1,1

#### 6.4.3 Określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych najsłabszej warstwy w potencjalnym poziomie posadowienia.

Warstwa	parametr	miano	parametr charakterystyczny	Współczynnik częściowy bezpieczeństwa	parametr obliczeniowy
<b>EL-1</b>	ciężar objętościowy	[kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_k = 20,6$	1,00	$\gamma_d = 20,6$
	spójność	[kPa]	$c_k = 28$	1,00	$c_d = 28,0$
	kąt tarcia wewnętrznego	[°]	$\text{tg } \phi_k = 0,2962$	1,00	$\text{tg } \phi_d = 0,2962$
	wytrzymałość na ścinanie	[kPa]	$\tau = c_u = 37$	1,00	$\tau = c_u = 37$

#### 6.4.4. Obliczenie warunku nośności podłoża gruntowego i ogólnej stateczności.

Obliczenie nośności – sprawdzenie stanów granicznych nośności wg normy PN-EN 1997-1:2008 (Eurokod 7) – określono metodą analityczną wg pkt. 6.5.2.2. tej normy, poprzez określenie (przy przyjęciu parametrów hipotetycznego fundamentu) wartości jednostkowego oporu granicznego podłoża na wyparcie pod fundamentem, przy powolnej konsolidacji podłoża ( w warunkach „z odpływem”) oraz przy szybkiej konsolidacji ( w warunkach „bez odpływu”). Ze względu na brak danych dotyczących obciążeń poziomych, sprawdzenie nośności na przesunięcie (poślizg) w poziomie posadowienia winno zostać dokonane w oparciu o dane niniejszej dokumentacji na etapie projektu konstrukcyjnego.

Obliczenia przeprowadzono dla **fundamentu płytowego, kołowego o średnicy D=7,92m opartego na głębokości 1,0m ppt.** na najsłabszej warstwie geotechnicznej EL-1.

Dane przyjęte do obliczeń :

- ▶ głębokość posadowienia fundamentu rzeczywistego  $h_f = 1,0\text{m ppt}$ ,
- ▶ fundament rzeczywisty – fundament kołowy o wymiarach sprowadzonych do kwadratu:  
 $B = L = 1,77(D/2) = 6,655\text{m}$  ;
- ▶ ciężar objętościowy gruntu powyżej poziomu posadowienia fundamentu zastępczego szacowany jak średni dla warstw AL-1 i EL-1 na wartość  $\gamma_n = 18,5\text{kN/m}^3$ ,
- ▶ efektywny ciężar objętościowy gruntu poniżej poziomu posadowienia fundamentu – dla najsłabszej warstwy geotechnicznej EL-1 :  $\gamma' = \gamma_d = 20,8\text{ kN/m}^3$
- ▶ spójność efektywna warstwy geotechnicznej EL-1 pod fundamentem  $c' = c_d = 13,0\text{ kPa}$

- wytrzymałość na ścinanie warstwy geotechnicznej EL-1 -  $\tau = c_u = 37,0 \text{ kPa}$

6.4.4.1. Sprawdzenie granicznego stanu nośności GEO na wypieranie gruntu spod fundamentu dla powolnej konsolidacji podłoża – w warunkach „z odpływem”.

Jednostkowy opór graniczny podłoża  $R_k/A'$  obliczamy wg załącznika D.4 normy PN-EN 1997-1:2008

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

gdzie:

$q'$  – naprężenie w gruncie w poziomie posadowienia :

$$q' = h_f \cdot \gamma_n = 1,0 \text{ m} \cdot 18,5 \text{ kN/m}^3 = 18,5 \text{ kPa}$$

współczynniki bezwymiarowe nośności :

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 (45 + \phi/2) = 3,26$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \phi = 9,81$$

$$N_c = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \phi = 1,05$$

współczynniki bezwymiarowe kształtu fundamentu :

$$s_q = 1 + B/L \cdot \sin \phi = 1,22$$

$$s_\gamma = 0,5 \cdot (1 - 0,3 \cdot B/L) = 0,35$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = 1,32$$

współczynniki bezwymiarowe pochylenia podstawy fundamentu :

$$b_q = 1,00 \quad b_\gamma = 1,00 \quad b_c = 1,00$$

współczynniki bezwymiarowe nachylenia obciążenia :

$$i_q = 1,00 \quad i_\gamma = 1,00 \quad i_c = 1,00$$

stąd :

$$\begin{aligned} R_k / A' &= 13,0 \text{ kPa} \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,36 \cdot 1,0 + 18,5 \text{ kPa} \cdot 3,26 \cdot 1,0 \cdot 1,22 \cdot 1,0 + \\ &+ 0,5 \cdot 20,8 \text{ kN/m}^3 \cdot 6,655 \text{ m} \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 0,35 \cdot 1,0 = 18,56 + 73,58 + 237,64 = 329,78 \text{ kPa} \end{aligned}$$

**Charakterystyczny opór graniczny podłoża** przy obciążeniu osiowym wnosi pod fundamentem zastępczym :

$$R_k = \pi \cdot (0,5 \cdot 7,52m)^2 \cdot 329,78kPa = 14.647,04kN$$

**Obliczeniowy opór graniczny podłoża** przy obciążeniu osiowym fundamentem kołowym wnosi przy zastosowaniu częściowego współczynnika bezpieczeństwa dla oporu granicznego na wyparcie gruntu spod fundamentu wg punktu 8.2. -  $\gamma_r=1,4$ :

$$R_d = 14.647,04kN/1,4 = 10.462,17 \sim 10.462kN$$

**Warunek obliczeniowy stanu granicznego nośności GEO na wypieranie gruntu spod fundamentu i ogólnej stateczności podłoża** w warunkach powolnej konsolidacji podłoża będzie zatem spełniony jeżeli wartość obliczeniowa siły pionowej przekazywanej przez fundament kołowy na grunt -  $V_d$  spełnia warunek :

$$V_d \leq R_d = 10.462kN$$

Zatem nośność podłoża, sprawdzona dla najsłabszej warstwy podłoża jest wysoka. Wartość powyższą winien zweryfikować konstruktor obiektu budowlanego w oparciu o obliczenia siły pionowej oraz kształt i parametry rzeczywistego fundamentu.

#### 6.4.4.2. Sprawdzenie granicznego stanu nośności GEO na wypieranie gruntu spod fundamentu dla szybkiej konsolidacji podłoża – w warunkach „bez odpływu”

Jednostkowy opór graniczny podłoża  $R_k$  obliczamy wg załącznika D.4 normy PN-EN 1997-1:2008

$$R_k = A'[(\pi + 2) \cdot c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q']$$

gdzie:

$q'$  – naprężenie w gruncie w poziomie posadowienia, wg zależności :

$$q' = h_f \cdot \gamma_n = 1,0m \cdot 18,5kN/m^3 = 18,5kPa$$

$b_c$  - współczynniki bezwymiarowy uwzględniający nachylenie podstawy fundamentu, wg zależności :

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} = 1 \text{ - przy kącie nachylenia fundamentu do poziomu } \alpha = 0,0^\circ$$

$s_c$  - współczynniki bezwymiarowy uwzględniający kształt fundamentu prostokątnego wg zależności :

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B}{L} = 1 + 0,2 \cdot \frac{6,655m}{6,655m} = 1,2$$

$i_c$  - współczynniki bezwymiarowy uwzględniający nachylenia obciążenia pionowego spowodowane wystąpieniem obciążenia poziomego, wg zależności :

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

stąd :

**Charakterystyczny opór graniczny podłoża** przy pionowym obciążeniu osiowym wnosi pod fundamentem pasmowym, w warunkach „bez odpływu”

$$R_k = 44,415m^2 \cdot [(\pi + 2) \cdot 37kPa \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 + 18,5kPa] = 10.961,05kN$$

**Obliczeniowy opór graniczny podłoża** przy pionowym obciążeniu osiowym fundamentem wnosi przy zastosowaniu częściowego współczynnika bezpieczeństwa dla oporu granicznego na wyparcie gruntu spod fundamentu punktowego wg punktu 8.2. -  $\gamma_r=1,4$ :

$$R_d = 10.961,05kN / 1,4 = 7.829,32 \sim 7.829kN$$

**Warunek obliczeniowy stanu granicznego nośności GEO na wypieranie gruntu spod fundamentu i ogólnej stateczności podłoża** przy szybkiej konsolidacji podłoża będzie zatem spełniony jeżeli wartość obliczeniowa siły pionowej przekazywanej przez fundament kołowy na grunt -  $V_d$  spełnia warunek :

$$V_d \leq R_d = 7.829kN$$

Wartość powyższą winien zweryfikować konstruktor obiektu budowlanego w oparciu o obliczenia siły pionowej a zwłaszcza siły poziomej oddziałującej na fundament.

Jak wynika z powyższych obliczeń jako nośność graniczną dla projektowanego obiektu należy przyjąć nośność wyznaczoną w warunkach „bez odpływu” przy szybkiej konsolidacji podłoża.