

KRYTERIUM PODZIAŁU PODŁOŻA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH NA WARSTWY GEOTECHNICZNE¹

Simon Rabarijoely, Mateusz Waluś

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały kryteria identyfikacji warstw gruntu. Przede wszystkim podano definicję warstw geotechnicznych i podstawową metodę ich identyfikacji w celu lepszego zrozumienia przedstawionego problemu. Następnie opisano warstwy geotechniczne w rozumieniu geologicznym i geotechnicznym. W zakończeniu podano propozycję techniki podziału warstw geotechnicznych dla wybranego obiektu z kampusu SGGW w Warszawie oraz z obszaru Stegny w Warszawie. Do interpretacji warstw geotechnicznych wykorzystano wyniki badań uzyskane z sondowań statycznych CPT i testu DMT.

Słowa kluczowe: sondowanie sondą CPT, badanie dylatometryczne DMT, warstwy geotechniczne

WSTĘP

Badania podłoża budowlanego stanowią sporą część fazy projektowania konstrukcji inżynierskich. Poza badaniami laboratoryjnymi wykorzystuje się również badania polowe. O dużym wzroście popularności badań terenowych zdecydował postęp w konstrukcji nowych urządzeń, wysoki poziom interpretacji otrzymywanych wyników oraz możliwość uzyskania bezpośredniego profilu stratygraficznego. Jednak bardzo ważne jest, aby prawidłowo zrozumieć sens uzyskanych parametrów oraz znać ograniczenia wynikające z analizy czynników oddziałujących na pomierzone parametry. Dotychczasowa wiedza geotechniczna, którą zaleca między innymi Eurokod 7 (EC 7), wskazuje, że poprawne uzyskanie parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu wymaga spełnienia szeregu procedur, które prowadzą do określonych oszacowań warunków w podłożu (grunt, grunt budowlany, podłoże gruntowe, warstwy geologiczne, warstwy

¹Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2012–2015 z projektu badawczego NCN: UMO-2011/03/D/ST8/04309.

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

geotechniczne, proces geologiczny). Podziały procesów geologicznych są następujące: (1) wywołane przez czynniki zewnętrzne (egzogogeniczne) – budujące, sedimentacja, niszczące (wietrzenie, erozja, ruchy masowe), (2) wywołane przez czynniki wewnętrzne (endogogeniczne) – diastrofizm, wulkanizm, metamorfizm, plutonizm. W artykule opisano kategorie podziału podłoża obiektów budowlanych ze względów geologicznych i geotechnicznych.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie ogólnej zasady grupowania warstwy gruntów na podstawie sondowań geotechnicznych. Klasyfikacja została wykonana na podstawie wyników badań z sondowania CPT i DMT oraz badań laboratoryjnych, które zostały przeprowadzone na terenach kampusu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego i na poletkach doświadczalnych Stegny w Warszawie. W artykule przyjęto tezę, że istnieje zależność pomiędzy mierzonymi w badaniach dylatometrycznych ciśnieniami p_o i p_1 oraz w sondowaniach statycznych ciśnieniami q_c i f_s a parametrami fizycznymi i mechanicznymi gruntów mineralnych i organicznych. Uzależnienie parametrów mechanicznych gruntów mineralnych i organicznych od jednego z ciśnień lub wyznaczonego na ich podstawie wskaźnika dylatometrycznego lub współczynnika R_f powoduje, że występujące w zależności współczynniki empiryczne mają charakter lokalny. Uwzględnienie probabilistycznej metody szacowania warstw (indeks klasyfikacji gruntu U) umożliwia szerszy zakres stosowalności badań CPT i DMT.

POSTAWY TEORETYCZNE

Kryteria geologiczne

Z punktu widzenia inżynierskiego ważny jest podział gruntów i skał według ich genezy. Skały i grunty kształtowały się w różnych warunkach geologicznych oraz pod wpływem różnych czynników i dlatego ich właściwości są przestrzennie zmienne. Malinowski i Glazer [Glazer i Malinowski 1991, Izdebska-Mucha i Wójcik 2013, Gawriuczenkow i Wójcik 2013, Narloch i Piotrowski 2013] proponują podział naturalnych gruntów występujących na terenie Polski na 8 regionów geologicznych, a tych – na 20 obszarów gruntów budowlanych. Podział na regiony geologiczne uwzględnia genezę gruntów i ich właściwości, jak również warunki wodne, procesy geologiczne, geomorfologię i czynniki klimatyczne. Obszary geologiczne wydzielono na podstawie genezy, geomorfologii i litologii.

Klasyfikację gruntów do celów budowlanych podaje norma EN ISO 14688-1:2006 „Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis”. Najogólniej grunty budowlane ze względu na pochodzenie dzieli się na grunty antropogeniczne i naturalne (tab. 1 i 2).

Kryteria geotechniczne

Głównymi kryteriami geotechnicznymi podziału podłoża obiektów budowlanych na warstwy geotechniczne są parametry geotechniczne, czyli wielkości, które charakteryzują cechy (właściwości) gruntu i jego zachowanie się w przypadku działania w przeszłości, teraźniejszości i w przyszłości określonych czynników zewnętrznych i wewnętrznych

Tabela 1. Oznaczenie i opis gruntów wulkanicznych [PN-EN ISO 14688-1:2006]
 Table 1. Designation and description of volcanic soil [PN-EN ISO 14688-1:2006]

Termin Terminology	Wymiary cząstek Particle size [mm]	Opis Description
Głazy wulkaniczne volcanic boulders	$d > 63$	–
Lapille	$2 < d < 63$	cząstki są pęcherzykowane, białe vesicular particles are white
		cząstki są pęcherzykowane, czarne vesicular particles are black
Popiół wulkaniczny Volcanic ash	$d \leq 2,0$	grunt wykazuje charakterystyczne (duże zróżnicowanie) własności geotechniczne dla każdego terenu soil exhibits characteristic (large variation) geotechnical properties for each site
		w większości przypadków grunt posiada lokalną nazwę in most cases, the soil has a local type

Tabela 2. Frakcje i wymiary cząstek [PN-EN ISO 14688-1:2006]
 Table 2. Particle and fractions size [PN-EN ISO 14688-1:2006]

Grupy gruntów Soil groups	Frakcje Particle	Symbole Symbol	Wymiary cząstek Particle size [mm]
Bardzo gruboziarniste Very coarse	duże głazy – large boulder	LBo	$d > 630$
	głazy – boulder	Bo	$200 < d < 600$
	kamienie – cobble	Co	$63 < d < 200$
Gruboziarniste Coarse	żwir – gravel	Gr	$2,0 < d < 63$
	żwir gruby – coarse gravel	CGr	$20 < d < 63$
	żwir średni – medium gravel	MGr	$6,3 < d < 20$
	żwir drobny – fine gravel	FGr	$2,0 < d < 6,3$
	piasek – sand	Sa	$0,063 < d < 2,0$
	piasek gruby – coarse sand	CSa	$0,63 < d < 2,0$
	piasek średni – medium sand	Msa	$0,2 < d < 0,63$
Drobnoziarniste Fine-grained	piasek drobny – fine sand	FSa	$0,063 < d < 0,2$
	pył – silt	Si	$0,002 < d < 0,063$
	pył gruby – coarse silt	CSi	$0,02 < d < 0,063$
	pył średni – medium silt	MSi	$0,0063 < d < 0,02$
	pył drobny – fine silt	FSi	$0,002 < d < 0,0063$
	ił – clay	Cl	$d \leq 0,002$

(obciążenie, uwilgotnienie itp.), uwzględniając charakterystykę geologiczno-inżynierską. Parametry geotechniczne gruntów należy ustalać na podstawie badań polowych i laboratoryjnych lub dzięki innym odpowiednim danym oraz należy je interpretować w sposób właściwy dla rozpatrywanego stanu granicznego. Przed interpretacją gruntów za pomocą badań należy przeprowadzić badanie makroskopowo i opisać zgodnie z przyjętą klasyfikacją. Podczas projektowania geotechnicznego, przed podziałem na warstwy geotechniczne i ustaleniem ostatecznych wartości parametrów geotechnicznych, trzeba zebrać obszerne dane na temat projektowanego obiektu (np. wymiary, obciążenia) oraz przeprowadzić wizje terenowe, które będą obejmowały między innymi: historię terenu, informacje o wodach gruntowych, geologię terenu, lokalne doświadczenia na danym obszarze, trudności podczas wykopów.

Kolejnym ważnym krokiem przed ustaleniem granic warstw geotechnicznych jest zakwalifikowanie projektowanego obiektu do odpowiedniej kategorii geotechnicznej budynków. Kategorię geotechniczną całego obiektu lub jego poszczególnych części określa projektant w uzgodnieniu z osobą upoważnioną do ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektu budowlanego. W trakcie czynności geotechnicznych oraz budowy, przy stwierdzeniu innych od założonych w programie warunków gruntowych, kategoria geotechniczna może ulec zmianie. W zależności od rodzaju ponoszonego ryzyka (małe, średnie, duże) wyróżnia się 3 kategorie geotechniczne obiektów [Rozporządzenie... 1998] (rys. 1).

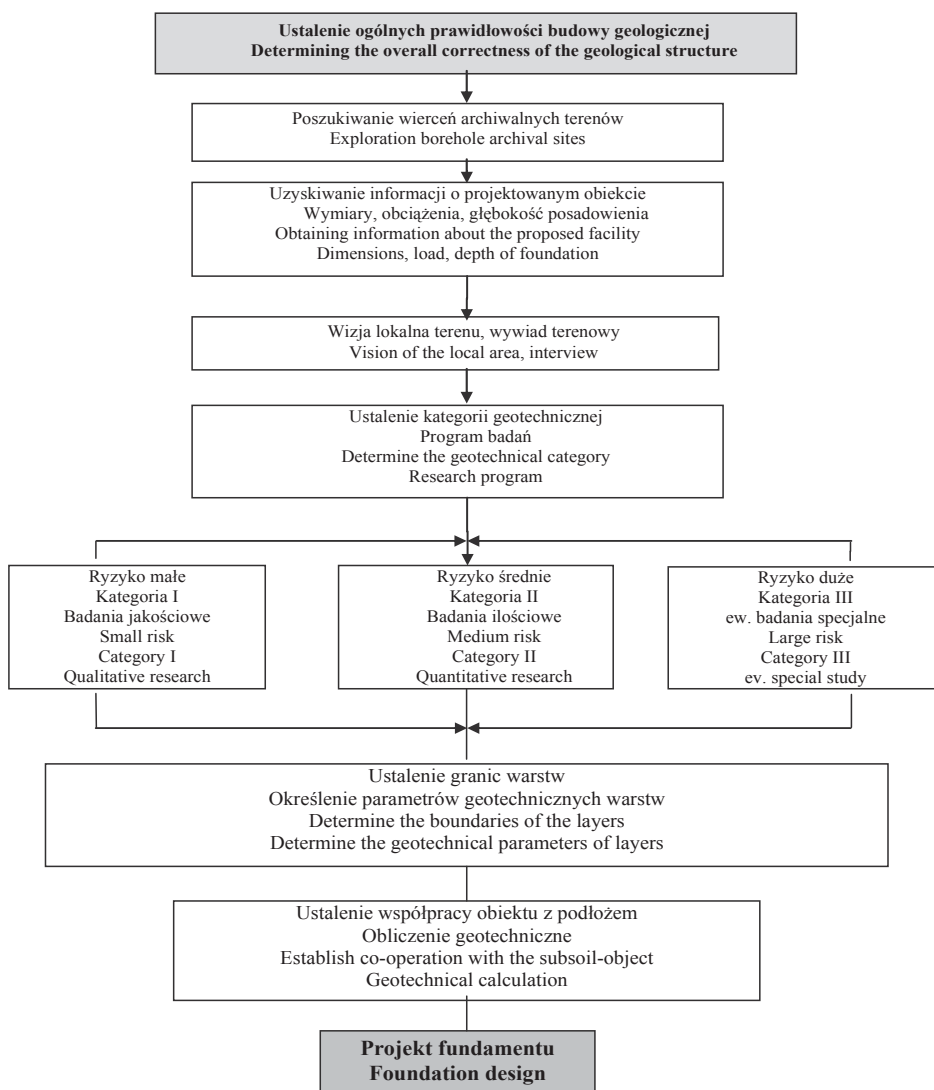
OPIS OBIEKTU

Charakterystyka geologii obszaru pod obiektem stadion SGGW

Budowa geologiczna terenu, na którym znajduje się kampus SGGW na Ursynowie, jest złożona. Kampus SGGW znajduje się w granicy wysoczyzny morenowej, posiadającej płaską przeobrażoną antropogenicznie powierzchnię. Wysoczyzna opada spadziłą skarpią na wschód od terenu SGGW na poziom tarasu wyższego – praskiego doliny Wisły [Sarnacka 1976, 1992]. Podłoże czwartorzędowego osadu, czyli ility pliocenские, tworzą glaciektoniczną kulminację w rejonie przyskarpowej doliny Wisły. Nad ility pliocenскими znajdują się osady preglacjalne, które wykształciły się w postaci żwirów kwarcowych z litytami i piasków oraz mułków. Osady te uczestniczą w zaburzeniach w strefie przyskarpowej [Różycki i Sujkowski 1936, Morawski 1984]. Powyżej osadów preglacjalnych wysoczyzny ursynowskiej znajdują się twory glacialne zlodowaceń 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 oscylują wokół wartości $1 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [Wiencław i in. 1996].

Biorąc pod uwagę właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów, na terenie Kampusu SGGW wydzielono w podłożu 5 warstw geotechnicznych. Warstwę I tworzą twory fluwioglacjalne zlodowacenia Warty (${}^{\text{I}}\text{Q}_p\text{W}$) – piaski średnie i drobne, średnio zagęszczone, o wartościach stopnia zagęszczenia (I_D) w zakresie 0,35–0,55 oraz piaski glińaste



Rys. 1. Schemat czynności podczas projektowania geotechnicznego [Wysokiński 2002]

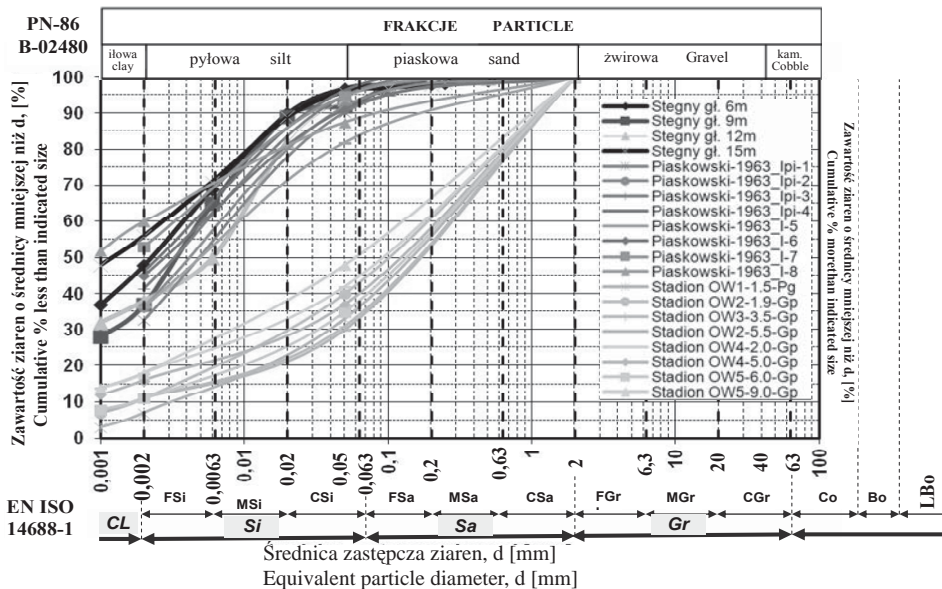
Fig. 1. Schematic steps for geotechnical design [Wysokiński 2002]

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 łądολου zlodowacenia Warty (bQ_pW) – 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 (gQ_pW) – 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

złodowacenia Odry (${}^E Q_p O$) – gliny piaszczyste z gładzikami w stanie twaroplastycznym 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 interglacjału mazowieckiego (${}^F Q_p M$) – piaski drobne i średnie, w stropie warstwy bardzo zagęszczone, o $I_D = 0,8-0,9$ [Dokumentacja geotechniczna... 2001].

Poletko doświadczalne na Stegnach

Teren poletka doświadczalnego Stegny położony jest w dolinie Wisły, na tarasie nadzalewowym praskim, na wysokości względnej od 5 do 10 metrów nad poziomem „0” Wisły. Obszerne badania terenowe [Rabarjioely i in. 2012], z wykorzystaniem między innymi dylatometru Marchettiego, wykazały, że w podłożu występują prekonsolidowane iły płoceńskie ($OCR = 3,0-6,5$), charakteryzujące się wilgotnością w zakresie od 21,4% do 30,1%, wartościami granicy płynności (w_L) od 38,5% do 87,4% i granicy plastyczności (w_P) w zakresie od 20,9% do 41,0%. Biorąc pod uwagę wilgotność naturalną iłów, należy je zaliczyć do gruntów w stanie zwartym lub półzwartym [Lendo-Siwicka i Niedźwiedzka 2012, Rabarjioely i Garbulewski 2012]. Uziarnienie badanych iłów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wykresy krzywych uziarnienia badanych iłów z poletka doświadczalnego Stegny i glin piaszczystych na kampusie SGGW w Warszawie

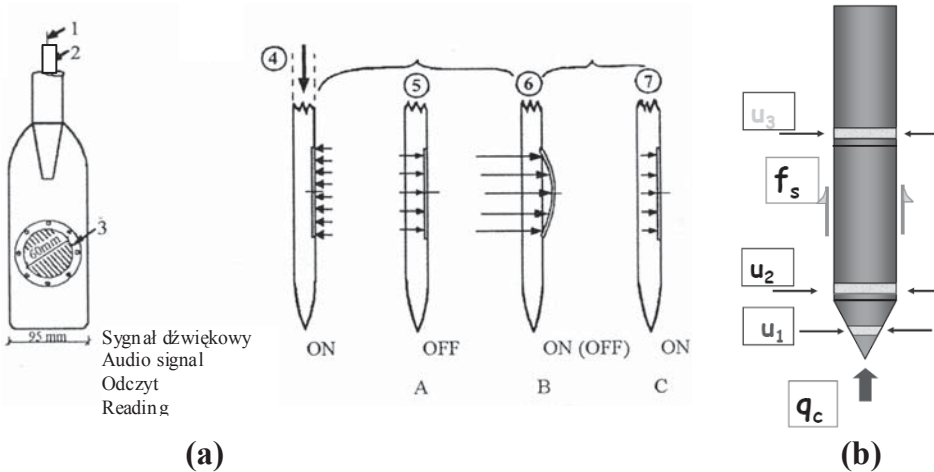
Fig. 2. Charts of grain size distribution of clay from Stegny site and boulder clay at SGGW Campus in Warsaw

Z badań przeprowadzonych przez Kaczyńskiego [2002, 2007], Kaczyńskiego i in. [2000] oraz Barańskiego i in. [2010], Godlewskiego i Szczepańskiego [2012a, b] wynika, że podstawowe właściwości iłów plicieńskich, a w zasadzie mio-plicieńskich, zależą od zawartości frakcji iłowej. Parametry geotechniczne iłów budujących podłoża na obszarze poletka doświadczalnego Stegny są podobne do parametrów iłów z innych części Warszawy [Piaskowski 1963, Klębek i Łoszewski 1981]. Ich wilgotność naturalna jest prawie równa całkowitej, stopień nasycenia jest większy od 0,95. Analizowane ily charakteryzują się konsystencją półzwardą, rzadko twardoplastyczną. Poddając je ocenie geologiczno-inżynierskiej, Kaczyński [2002, 2007] oraz Kaczyński i in. [2000] stwierdzili, iż są one gruntami posiadającymi specyficzne właściwości. Odznaczają się wyjątkową wrażliwością w stosunku do działających procesów egzogenicznych, czyli procesów geologicznych wywoływanych przez czynniki zewnętrzne. Sytuacje takie, jak: zamarzanie, odmarzanie, kurczenie, rozmakanie oraz pęcznienie, powodują, iż osady te mogą ulegać wietrzeniu oraz dezintegracji.

METODYKA BADAŃ. BADANIE SONDĄ STATYCZNĄ (CPT/CPTu) I DYLATOMETRYCZNE (DMT)

Statyczna sonda stożkowa CPT składa się z penetrometru stożkowego, systemu odczytu danych oraz urządzenia wciskającego. Standardowy penetrometr stożkowy powyżej części stożkowej ma część cylindryczną. Dzięki zestawowi żerdzi możliwe jest wciskanie końcówki penetrometru w grunt ze stałą prędkością równą $v_o = 20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. W skład systemu odczytu danych wchodzi urządzenie rejestrujące oraz elementy, dzięki którym możliwe jest przesyłanie uzyskanych danych z końcówki penetrometru. W czasie przeprowadzania badania wykonywane są ciągle pomiary wartości oporu na stożku, wartości tarcia na tulei ciernej i wartości ciśnienia wody w porach. W trakcie penetracji podłoża gruntowego otrzymuje się następujące parametry: opór wciskanego stożka (q_c), siłę tarcia względem powierzchni bocznej końcówki znajdującej się bezpośrednio za stożkiem (f_s), ciśnienie wody w porach gruntu (badanie CPTu). W penetrometrach stożkowych z końcówką piezometryczną ciśnienie wody mierzy się w jednej z trzech lokalizacji (rys. 3b), jednak dopuszczalny jest równoczesny pomiar ciśnienia wody w porach gruntu w więcej niż jednym filtrze pomiarowym. Ciśnienie określa się dla następujących lokalizacji filtra: u_1 – dla filtra zlokalizowanego na stożku, u_2 – dla filtra zlokalizowanego bezpośrednio za stożkiem, u_3 – dla filtra zlokalizowanego za tuleją cierną [Mayne 2007].

Dylatometr Marchetti'ego składa się z trzech zasadniczych części: końcówki pomiarowej z żerdziami, źródła sprężonego gazu i urządzenia kontrolno-pomiarowego (rys. 3a). Końcówkę pomiarową dylatometru Marchetti'ego stanowi płaska, stalowa łopata wyposażona w elastyczną membranę. Membrana znajduje się w centralnej części powierzchni łopatki, pod którą zostały zainstalowane urządzenia sprężynowe do wymuszenia ruchu membrany w kierunku gruntu i z powrotem do położenia początkowego. Dylatometr Marchetti'ego wykonuje pomiary naprężenia pomiędzy gruntem i membraną. Z badania dylatometrycznego DMT można korzystać w prawie każdych warunkach gruntowych, od gruntów organicznych po „słabe” skały [Marchetti 1980]. Korygując pomierzone wartości odczytów A, B, C ze względu na wpływ oporu bezwładności membrany,



Rys. 3. (a) dylatometr Marchettiego, (b) stożek CPTu [Mayne 2007]
 Fig 3. (a) Marchetti dilatometer, (b) piezocone CPTu [Mayne 2007]

oblicza się odpowiadające im ciśnienia p_0 , p_1 , p_2 . Razem z wyznaczonymi w warunkach *in situ* wartościami składowej pionowej efektywnego naprężenia (σ'_{v0}) i ciśnienia wody w porach (u_0) stanowią podstawę do wyznaczania czterech pośrednich parametrów wskaźnikowych, którymi są [Marchetti 1980, Lutenegeger i Kabir 1988, Totani i in. 1998]:

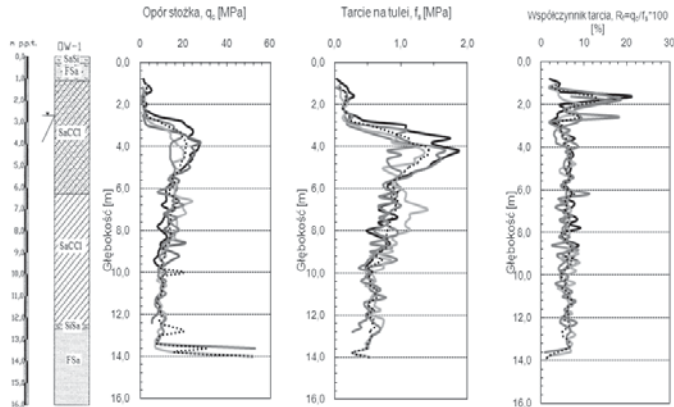
- wskaźnik materiałowy [-]: $I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$
- wskaźnik naprężenia bocznego [-]: $K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$
- moduł dylatometryczny [MPa]: $E_D = 34,7 (p_1 - p_0)$
- wskaźnik ciśnienia wody w porach [-]: $U_D = (p_2 - u_0) / (p_0 - u_0)$

Za pomocą odpowiednich korelacji oraz mając określone pośrednie współczynniki, na podstawie badań dylatometrycznych DMT można określić wiele parametrów geotechnicznych [Marchetti 1980, Mayne 2007].

WYNIKI SONDOWAŃ CPT I DMT ORAZ WYZNACZENIE GRANIC WARSTW PODŁOŻA GRUNTOWEGO DLA WYBRANYCH OBIEKTÓW

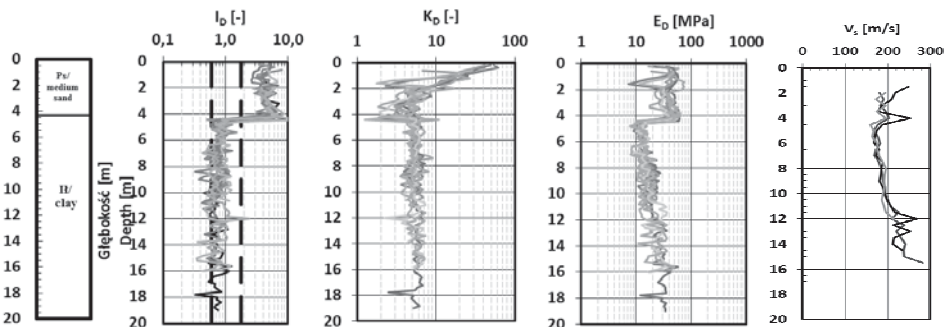
Wydzielenie warstw i przypisywanie parametrów geotechnicznych

Projektowany stadion SGGW. W etapie rozpoznania wykonano sondowania CPT i DMT. Możliwość takiego podejścia do wydzielenia warstw geotechnicznych wynika z coraz powszechniejszego stosowania dylatometrów, sondowań statycznych CPTu, sond dynamicznych oraz badań geofizycznych metodami radarowymi, mikrosejsmicznymi. W wymienionych badaniach można uzyskać od razu profil wytrzymałości gruntów [Wysokiński 2002, Młynarek i in. 2003]. Na podstawie wyników badań określono warstwy geotechniczne i średnie wartości parametrów geotechnicznych (rys. 4).



Rys. 4. Interpretacja sondowania CPT dla obiektu stadion SGGW
 Fig. 4. Interpretation of the CPT tests at SGGW Stadion

Poletko doświadczalne na Stegnach. Sondowanie dylatometryczne DMT wykonano w 10 profilach. Na podstawie wykresów przedstawionych na rysunku 5 przeprowadzono interpretację warstw podłoża na terenie poletka doświadczalnego na Stegnach. Wykresy przedstawiają wskaźniki dylatometryczne: wskaźnik materiałowy (I_D), wskaźnik naprężenia bocznego (K_D) i moduły dylatometrycznego (E_D). Wskaźnik materiałowy (I_D) do głębokości 4–4,5 m zmienia się w zakresie 4–6, a następnie stabilizuje na wartościach nieco mniejszych od 1. Inne wskaźniki dylatometryczne również ustalają się na głębokości 4–4,5 m. Wskaźnik naprężenia bocznego (K_D) osiąga wartości 4–6, a moduł dylatometryczny (E_D) osiąga wartości 10–20 MPa. Na podstawie wyników badań można stwierdzić, iż w górnej warstwie podłoża gruntowego występują piaski średnie. Poniżej tych piasków występują iły w stanie spoistym. Poniżej przedstawiono wyniki badania dylatometrycznego (DMT), na podstawie którego określono granice warstw i klasyfikację gruntów (rys. 5).



Rys. 5. Profile wskaźników i prędkość fali poprzecznej (V_s) dylatometrycznych sondowań w podłożu poletka doświadczalnego Stegny w Warszawie

Fig. 5. Profile of dilatometer indexes and transverse wave velocity (V_s) obtained from Stegny site in Warsaw

PROPONOWANE SPOSOBY WYDZIELENIA WARSTW GEOTECHNICZNYCH WRAZ Z PARAMETRAMI

Klasyfikacja według Zhang i Tumay [1999] programem PClass-CPT

Istnieje spore prawdopodobieństwo błędu przy identyfikacji gruntu za pomocą tradycyjnych nomogramów klasyfikacji gruntów CPT, zwłaszcza w strefach przejściowych. Dlatego należy rozwijać inne sposoby klasyfikacji, np. probabilistyczną metodę szacowania warstw. Probabilistyczna metoda szacowania warstw stosowana jest do gruntów o niepewnych zależnościach między składem a właściwościami mechanicznymi (rys. 6a, 6b). Probabilistyczna metoda szacowania warstw stosowana jest do gruntów o niepewnych zależnościach między składem a właściwościami mechanicznymi. W tej metodzie przeprowadzono przekształcenie osi wykresu z danych otrzymanych z sondowania CPT (q_c i R_f) do wskaźnika klasyfikacji gruntów (U) na podstawie przedstawionych równań:

$$x = 0,1539R_f + 0,8870\log q_c - 3,35$$

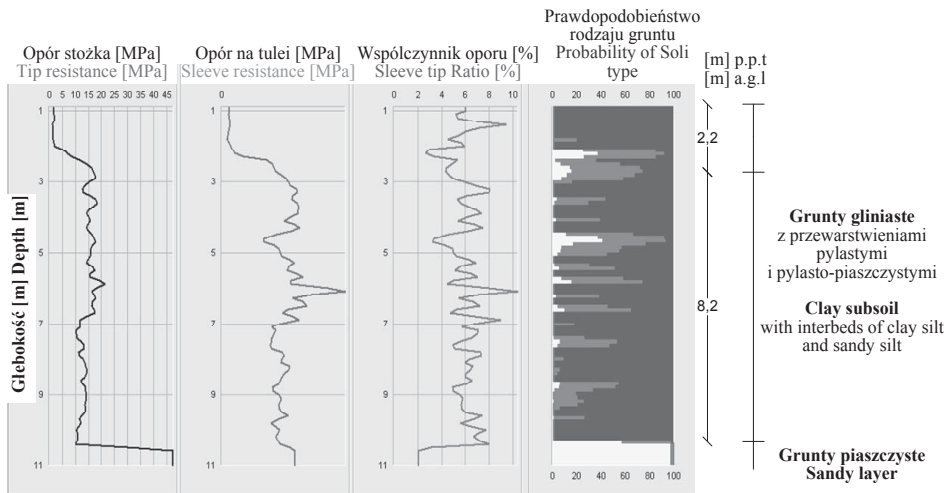
$$y = -0,2957R_f + 0,4617\log q_c - 0,37$$

$$U = \frac{(a_1x - a_2y + b_1)(c_1x - c_2y + d_1)}{(c_1x - c_2y + d_1)^2 + (c_2x + c_1y + d_2)^2} - \frac{(a_2x + a_1y + b_2)(c_2x + c_1y + d_2)}{(c_1x - c_2y + d_1)^2 + (c_2x + c_1y + d_2)^2}$$

Stałe w ostatnim równaniu wynoszą: $a_1 = -11,345$, $a_2 = -3,795$, $b_1 = 15,202$, $b_2 = 5,085$, $c_1 = -0,296$, $c_2 = -0,759$, $d_1 = 2,960$, $d_2 = 2,477$.

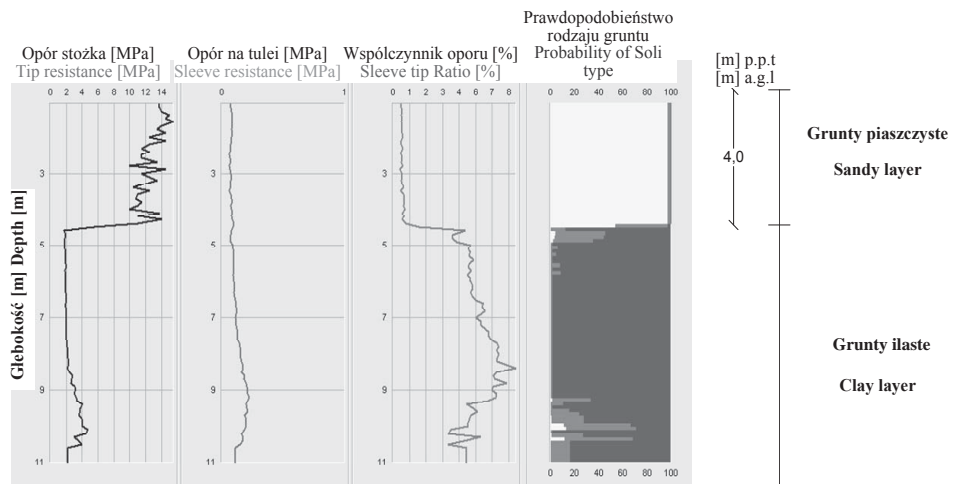
Na podstawie zależności między składem gruntu a indeksem klasyfikacji gruntu (U) ustalono statystyczne zależności, których użyto do stworzenia systemu klasyfikującego grunty *Unified Soil Classification System* (USCS), w którym wydzielono 7 typów gruntów: CL, CH, ML, SC, GP, SP i SM (gdzie: C – il, M – pył, S – piasek, G – żwir; L – niski, H – wysoki, C – nieznaczące, P – bardzo niski, M – mieszanina). Każdy rodzaj gruntu ma przypisaną wartość wskaźnika U [Zhang i Tumay 1999, 2000, 2003]. Przykładowy profil z wykorzystaniem wskaźnika klasyfikacji gruntów (U) przedstawiono na rysunkach 6a i 6b. Na podstawie tej klasyfikacji za pomocą języka Virtual Basic napisano program PClass CPT. Na rysunkach zaprezentowano też wyniki programu PClass CPT dla omawianych obiektów wraz z ich interpretacją.

Porównując interpretację profili gruntowych na podstawie tradycyjnych nomogramów [Schmertmann 1975] oraz interpretację za pomocą programu PClass CPT, można stwierdzić podobieństwa w otrzymanych rodzajach gruntów, jak również podobieństwo w przebiegu uwarstwienia podłoża gruntowego. Należy jednak pamiętać, że sama metoda sondowania statycznego sondą CPTu jest niewystarczająca i badanie powinno być uzupełnione innymi badaniami polowymi lub wierceniami badawczymi w celu dokładniejszego rozpoznania geotechnicznego.



Rys. 6a. Interpretacja profilu gruntowego dla CPT-1 (stadion SGGW) [Zhang i Tumay 1999, 2000, 2003]

Fig. 6a. Interpretation of the CPT-1 tests at SGGW Stadion [Zhang and Tumay 1999, 2000, 2003]



Rys. 6b. Interpretacja profilu gruntowego dla CPT (poletko doświadczalne na Stegnach) [Zhang i Tumay 1999, 2000, 2003]

Fig. 6b. Interpretation of the CPT tests obtained from Stegny site in Warsaw [Zhang and Tumay 1999, 2000, 2003]

WNIOSKI

Poprawne zaprojektowanie posadowienia obiektów inżynierskich wymaga spełnienia szeregu procedur. Przed wyznaczeniem warstw geotechnicznych i ustaleniem ostatecznych wartości ich parametrów należy:

1. Zgromadzić i poddać analizie dane archiwalne celem wstępnego określenia kategorii geotechnicznej obiektu i rodzaju warunków gruntowych.
2. Przeprowadzić badania terenowe z jednoczesnym wykorzystaniem sondowania CPT i DMT, co pozwala zminimalizować ryzyko pomyłek.
3. Wykonać badania laboratoryjne pobranych próbek.
4. Zinterpretować parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe.

PIŚMIENNICTWO

- Barański M., Godlewski T., Szczepański T., 2010. Determination of soil stiffness parameters on chosen test sites using in situ seismic methods. Workshop Soil parameters from in situ and laboratory tests. Conference dedicated to the Jubilee of Professor Zbigniew Młynarek. Scientific Conference "Natural and technical problems of environmental engineering". 4th International workshop Poznań 27–29 IX 2010 r. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 149–157.
- Dokumentacja geotechniczna w sprawie warunków gruntowych i wodnych na terenie przeznaczonym pod projektowany stadion piłkarski 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 14688-2:2006 Badanie geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- Gawriuczenkow I., Wójcik E., 2013. Porównanie właściwości ekspansywnych ilów neogeńskich z Mazowsza. *Przeгляд Geologiczny* 61, 243–247.
- Glazer Z., Malinowski J., 1991. *Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa*. PWN, Warszawa.
- Godlewski T., Szczepański T., 2012a. Determination of soil stiffness parameters using in-situ seismic methods insight in repeatability and methodological aspects. *Proceedings of ISC'4*, 17-21 September 2012, Porto de Galinhas-Pernambuco Brasil, 1, 441–446.
- Godlewski T., Szczepański T., 2012b. Ustalanie parametrów sprężystości gruntów przy użyciu sejsmicznych metod in-situ – wpływ metodyki. XVI KKMGiIG, 4-7 września 2012, Wrocław. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 328–333.
- Izdebska-Mucha D., Wójcik E., 2013. Wpływ struktury na skurczalność gruntów spoistych. *Przeгляд Geologiczny* 61, 3, 195–202.
- Kaczyński R., 2002. Engineering-geological evaluation of Mio-Pliocene clays in the Warsaw area central Poland. *Acta Geologica Polonica* 52, 4, 437–448.
- Kaczyński R., 2007. Geologiczno-inżynierskie zachowanie się ilów londyńskich i warszawskich. III Ogólnopolskie Sympozjum „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce”. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 11.
- Kaczyński R., Grabowska-Olszewska B., Borowczyk M., Ruczyńska-Szenajch H., Krauzlis K., Trzciniński J., Barański M., Wójcik E., 2000. Litogenesis microstructures and geological – engineering properties of Pliocene days from Warsaw region 2000. Project KBN nr 9T12B00516.

- Kłębek A., Łoszewski B., 1981. Iły plioceńskie jako podłoże budowlane w rejonie Warszawy. VI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Warszawa, 298–307.
- Lendo-Siwicka M., Niedźwiedzka K., 2012. Wpływ pęcznienia na parametry odkształceniowe ilów jako materiału budowlanego. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 21 (4) 58, 295–302.
- Lutenegger A.J., Kabir M.G., 1988. Dilatometer C – Reading to help determine stratigraphy. Proc. Int. Sym. on Penetration Testing ISOPT-1, Orlando.
- Marchetti S., 1980. In situ Tests by Flat Dilatometer. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE* 106, GT3, 299–321.
- Marchetti S., Crapps D.K., 1981. Flat dilatometer manual. Internal report of GPE.
- Mayne W.P., 2007. Cone Penetration Testing State of practice. NCHRP Project 20-05.
- Młynarek Z., Tschuschke W., Wierzbicki J., 2003. Wykorzystanie metody sondowania statycznego i badania dylatometrycznego do oceny parametrów geotechnicznych odpadów kopalnianych. Seminarium „Nowoczesne metody badań gruntów”, Warszawa.
- Morawski W., 1984. Osady wodnomorenowe. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Narloch W., Piotrowski J.A., 2013. Mikromorfologia glin lodowcowych jako narzędzie w rekonstrukcji procesów subglacialnych. *Przegląd Geologiczny* 61, 294–303.
- Piaskowski A., 1963. Fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne właściwości budowlanych gruntów spoistych. *Prace ITB* 268.
- Pisarczyk S., 2001. *Gruntoznawstwo inżynierskie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Rabarijoely S., Garbulewski K., 2012. Grunty – przykład materiałów z pamięcią. *Przegląd Naukowy Wydziału Budownictwa i Inżynieria i Środowiska* 21 (3), 57, 182–194.
- Rabarijoely S. i inni, 2012. Dobór parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych gruntów spoistych w projektowaniu geotechnicznym według Eurokodu 7 z wykorzystaniem analizy bayesowskiej. Projekt badawczy N N506 432436.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. *Dz.U.* z 1998 r. nr 126, poz. 839.
- Różycki S.Z., Sujkowski Z., 1936. Profile geologiczne przez Warszawę. Zarząd Miejski w Warszawie, Warszawa.
- Sarnacka Z., 1976. Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000. *Arkuszy Piaseczno*. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Sarnacka Z., 1992. Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Prace PIG* 138, 36.
- Totani G., Calabrese M., Marchetti S., Monaco P., 1998. Use of in situ flat dilatometer (DMT) for ground characterization in the stability analysis of slopes. Proc. Int. Conf. on Soil Mech. and Foun. Eng., Hamburg.
- 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.
- Wysokiński L., 2002. Problemy dotyczące wprowadzenia w Polsce norm europejskich w zakresie geotechniki. *Inżynieria i Budownictwo* 11, 625–630.
- Zhang Z., Tumay M.T., 1999. Statistical to Fuzzy Approach toward CPT Soil Classification. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 125, 3, 179–186.
- Zhang Z., Tumay M.T., 2000. Closure to “Statistical to Fuzzy Approach Toward CPT Soil Classification”. *ASCE Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126, 6, 579–580.
- Zhang Z., Tumay M.T., 2003. Nontraditional Approaches in Soil Classification Derived from the Cone Penetration Test. *ASCE Special Publication No. 121 on Probabilistic Site Characterization at the National Geotechnical Experimentation Sites*, 101–149.

THE CRITERIA FOR IDENTIFICATION OF GEOTECHNICAL LAYERS IN SUBSOIL OF STRUCTURE OBJECTS

Abstract. This paper contains the criteria of layer identification in subsoil structures. First of all, the definition of geotechnical layer and basic method for its identification has been explain for better understanding the presented problem. Next, the categories of geotechnical layers considering the geological and the geotechnical criteria were described. Finally the boundaries of layers were proposed for Warsaw University of Life Sciences (WULS) Campus and Stegny experimental field in Warsaw. This was obtained from CPT and DMT interpretation test results.

Key words: cone penetration tests CPT, dilatometer tests DMT, geotechnical layers

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 19.12.2014