

## Metodyka badań w warunkach *in situ*

### 4.1. Wprowadzenie

Wyniki badań gruntów uzyskane w warunkach *in situ* uwzględniają wpływ naturalnych czynników, do których należą: struktura gruntu, tekstura, stan naprężeń, warunki hydrogeologiczne i wilgotnościowe. Dodatkowo inne zjawiska fizyczne, takie jak: temperatura, wpływ światła roślin i zwierząt, nieciągłości, zaburzenia strukturalno-teksturalne, stanowią istotny element zespołu cech geosrodowiskowych kształtujących właściwości ośrodka gruntowego. Dlatego istotne jest ustalanie właściwości środowiska geologiczno-inżynierskiego w warunkach naturalnych (*in situ*). Takie podejście jest tym ważniejsze, że przy próbie charakterystyki przestrzennego zróżnicowania wybranych cech geologicznych, trzeba zapewnić poprawne warunki wykonywania testów. Należy w tym celu zebrać dostateczną liczbę danych z punktów badawczych rozmieszczonych odpowiednio w zasięgu występowania naturalnego ośrodka gruntowego. Zgodnie z tą zasadą autor posłużył się dostępnymi i nowoczesnymi narzędziami, które umożliwiły zebranie i charakterystykę właściwości fizycznych i mechanicznych ilów warwowych „zastoiska warszawskiego” w naturalnych warunkach ich występowania.

Badania służące poznaniu parametrów geologiczno-inżynierskich, z uwagi na sposób i miejsce ich wykonywania, dzielą się na terenowe (polowe) i laboratoryjne (Ignut i in., 1973; Bażyński i in., 1999; Pisarczyk, Rymsza, 2000; Kaczyński, 2017; Majer i in., 2018). Jeśli ocena właściwości jest przeprowadzana w warunkach terenowych, wówczas mówi się o badaniach *in situ*, czyli w miejscu zalegania, w naturalnym stanie naprężeń i odkształceń.

Według Karśluda i in. (2005 *vide* Młynarek i Wierzbicki, 2007) do czynników decydujących o wartości wyznaczonego parametru zalicza się:

- jakość przeprowadzonego badania w ujęciu analizy statystycznej;

- wpływ niejednorodności ośrodka gruntowego na wyznaczenie reprezentatywnego parametru dla wydzielenia tzw. jednorodnej geotechnicznie warstwy w podłożu;
- właściwą interpretację procesu, który opisuje zastosowany test *in situ*;
- jakość próbek do badań laboratoryjnych.

Bardzo istotnym elementem, który musi być uwzględniony w prognozie parametrów mechanicznych jest to, że poszczególne metody badań generują odmienne zakresy naprężeń i odkształceń wokół końcówki pomiarowej. Zatem w efekcie otrzymuje się parametry, które wymagają odpowiedniej walidacji przed ich wykorzystaniem do analiz geologiczno-inżynierskich. Dlatego zasadniczym elementem programowania badań *in situ* dla konkretnego zadania inżynierskiego jest dobór odpowiedniej metody oraz wybór właściwych parametrów, które są niezbędne do posadowienia planowanej inwestycji. Należy mieć na uwadze warunki ustalania parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntów podłoża mierzone za pomocą zastosowanej metody badań.

Program badań powinien uwzględniać następujące wskazówki:

- Parametry uzyskane z podstawowych testów *in situ* lokują się na różnych pozycjach na nieliniowej zależności między modułem sztywności i wytrzymałością na ścinanie. Wyznaczenie ekwiwalentu modułu z kilku testów wymaga kalibracji najczęściej przez zależność empiryczną, stąd niezwykle ważna jest świadomość ograniczeń empirycznych.
- Odmienne sposoby wprowadzenia końcówek pomiarowych w podłoże wymagają różnej teoretycznej interpretacji poszczególnych testów. Powoduje to powstawanie nowych parametrów opisujących właściwości gruntów w podłożu. Parametry te najczęściej są związane z zależnościami empirycznymi, które opisują standardowe wartości, definiujące wytrzymałość na ścinanie i charakterystykę deformacji podłoża (Młynarek, Wierzbiński, 2007; Schnaid, 2009).

Badania gruntów w warunkach ich naturalnego występowania mają szereg zalet, do których można zaliczyć:

- charakterystykę znacznej części przestrzeni gruntowej w postaci niemal ciągłego profilu sondowania, a przy tym obserwacji względnego zróżnicowania różnych partii profilu; w warunkach laboratoryjnych uzyskuje się informację punktową;
- obiektywne wyniki, wynikające z dużej skali ośrodka gruntowego i naturalnych warunków występowania gruntu;
- badanie cech gruntów w naturalnym stanie naprężenia w miejscu, w którym grunt będzie stanowił podłoże budowlane;
- bardzo szybkie i jednocześnie ekonomiczne otrzymywanie danych o podłożu budowlanym;
- pomiar bezpośredni reakcji ośrodka gruntowego na pogrążanie końcówek badawczych, co odzwierciedla opór podłoża na obciążenie budowlą;

- pozyskanie dużej liczby danych w krótkim czasie, dzięki czemu jest możliwa charakterystyka statystyczna wyników sondowania; znaczna liczba informacji pozwala na poszukiwanie nowych korelacji;
- przeprowadzenie stosunkowo pełnej przestrzennej (w osi pionowej) charakterystyki zróżnicowania cech mechanicznych ośrodka gruntowego; testy *in situ* stanowią w zasadzie jedyny, racjonalny sposób umożliwiający taką ocenę;
- ograniczenie liczby wierceń (choć profil geologiczny powinien być ustalony bezpośrednio), a przy tym redukcję zwiercin, odpadów i uszkodzeń terenu;
- obniżenie kosztów badań w stosunku do kosztów badań laboratoryjnych.

Należy mieć świadomość ograniczeń stosowanych metod wynikających z analizy czynników wpływających na mierzone parametry. Główne problemy, na które należy zwrócić uwagę, żeby prawidłowo przeprowadzić interpretację wyników w trakcie badań polowych, to:

- niedoskonałość korelacji wykorzystywanych do wyznaczania parametrów geologiczno-inżynierskich na podstawie parametrów własnych aparatury;
- trudności w precyzyjnym określeniu warunków brzegowych (rozmiar oddziaływania, struktura, stan naprężenia i odkształcenia);
- obecność w badanych osadach zmian postsedymentacyjnych, takich jak: cementacja, diagenеза, rozwój wiązań strukturalnych czy też efekt starzenia się gruntu (wyjaśnienie i ocena wpływu procesów diagenetycznych wymaga ciągle dalszych badań); na podstawie badań własnych autora wiadomo, że czynniki te np. generują pozorną prekonsolidację, wpływają również na rejestrowane wartości naprężeń poziomych (Zawrzykraj, 2004a, 2007); dyskusyjne staje się zatem traktowanie wymienionych urządzeń jako narzędzi do określania stratygrafii osadów;
- niejednorodność badanego ośrodka, anizotropia – duże deformacje i nieciągłości strukturalne; ich obecności należy spodziewać się na podstawie historii geologicznej osadu (procesy glacictektoniczne, ruchy tektoniczne) i warunków sedymentacji (iły zastoiskowe); charakterystyka znacznej przestrzeni gruntowej pozwala często takie niejednorodności wychwycić, co jest znacznie trudniejsze w przypadku niewielkich próbek punktowych (efekt skali); wydzielanie jednorodnych zespołów gruntowych (warstw geotechnicznych) wymaga często zastosowania metod statystycznych;
- niejednorodność ośrodka stwarza problem odwzorowania go w postaci wiarygodnego modelu geologicznego (model płaski i przestrzenny);
- charakterystyka cech mechanicznych gruntów za pośrednictwem różnych narzędzi badawczych prowadzi do oceny parametrów w odmiennych zakresach zależności naprężenie–odkształcenie; problem ten wymaga ciągłego poszukiwania najlepszych korelacji;
- jakość badań w odniesieniu do jakości stosowanego sprzętu; wymagane jest prowadzenie badań zgodnie z procedurami zawartymi w normach.

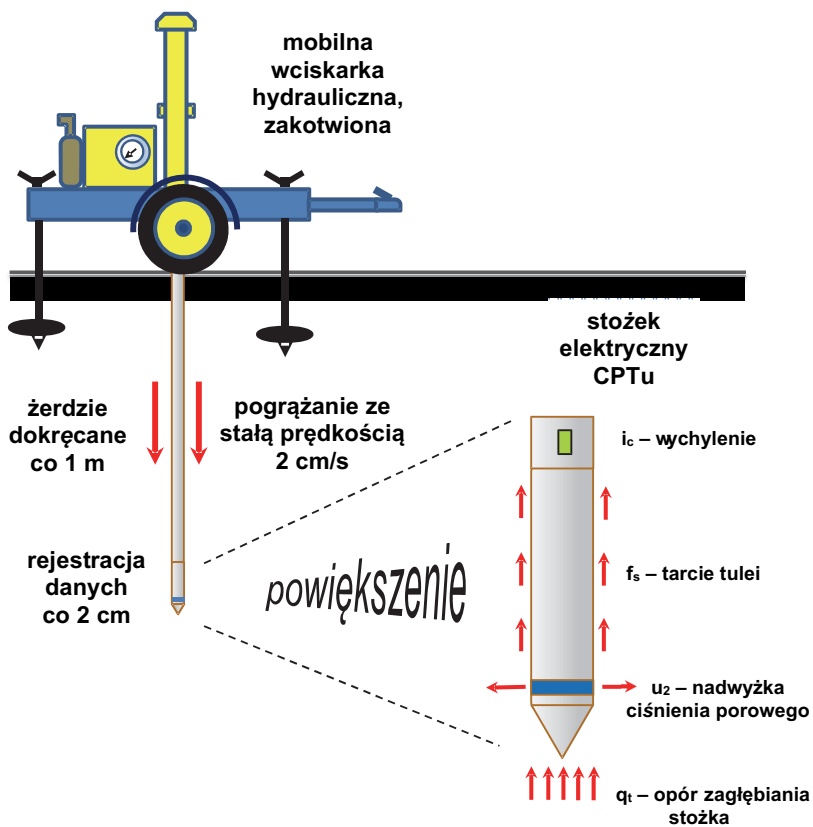
Jednym z kluczowych elementów prowadzonych obserwacji jest powiązanie otrzymywanych wyników parametrów fizyczno-mechanicznych z genezą, strukturą, historią geologiczną i aktualnym stanem badanych osadów. Z praktycznego punktu widzenia wyniki prac badawczych pozwolą na uściślenie poprawności i wiarygodniejszą ocenę warunków geologiczno-inżynierskich, od których zależą koszty różnorodnych inwestycji budowlanych oraz minimalizacja interwencji w środowisko przyrodnicze (Kaczyński, 2011).

## 4.2. Sondowanie statyczne CPT/CPTu

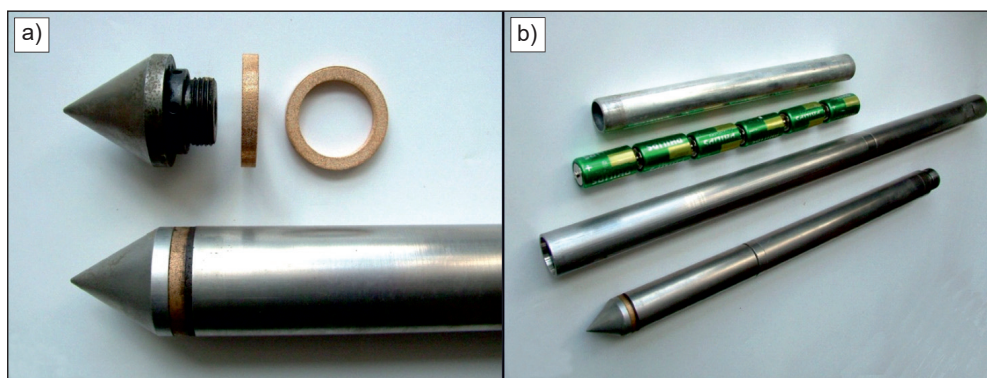
Sondowanie statyczne CPT (ang. *Cone Penetration Test*) jest polowym sposobem oceny właściwości geologiczno-inżynierskich gruntów, na podstawie rejestrowanych charakterystyk sondowania. Badanie polega na statycznym wciskaniu znormalizowanych końcówek pomiarowych pionowo w podłoże gruntowe. Prędkość penetracji wynosi 2 cm/s i wraz z innymi wymaganiami została uregulowana procedurami badawczymi w normach dotyczących badań geotechnicznych oraz instrukcji komitetu technicznego TC-16 International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Rejestracja parametrów sondowania jest prowadzona w sposób ciągły (z przerwami na dokręcenie żerdzi o długości 1 m każda, pośredniczących we wciskaniu sondy) (ryc. 4.1). Końcówka badawcza ma pole przekroju 10 cm<sup>2</sup> i jest zakończona stożkiem o kącie wierzchołkowym 60° (ryc. 4.2).

Pierwsze sondy statyczne zaprojektowano w Holandii i wykorzystywano w latach trzydziestych XX wieku (ryc. 4.3). Już na początku stosowano stożki o średnicy 35 mm oraz żerdzie z przelotem, które redukowały tarcie wewnętrznego stalowego pręta pomiarowego. Odczyty siły używanej do wciskania stożka prowadzono co 15 cm. Wówczas końcówka pomiarowa była zakończona tylko stożkiem pomiarowym, bez tulei ciernej a rejestracja oporów zagłębiania sondy odbywała się przez dynamometrię. W 1953 r. konfiguracja stożka została istotnie zmodyfikowana przez Begemanna, który dodał za stożkiem tuleję cierną. Ta konstrukcja jest używana w wielu przedsiębiorstwach geologicznych i geotechnicznych do dzisiaj i funkcjonuje pod nazwą „stożek Begemanna” lub „stożek holenderski” (ang. *dutch cone*) (ryc. 4.4–4.6).

Pierwsze stożki elektryczne, które wykorzystywały elektroniczne przetworniki siły wprowadzono w 1965 roku w holenderskiej firmie Fugro. Nadane wówczas rozmiar i kształt końcówki pomiarowej zachowano do dziś. Ich stosowanie umożliwiło niemal ciągły pomiar parametrów sondowania bez konieczności wykonywania dodatkowych zatrzymań wymaganych w przypadku mechanicznego stożka Begemanna. Spowodowało to zwiększenie efektywności sondowania oraz jego dokładności. W latach siedemdziesiątych XX w. końcówki pomiarowe zaczęto uzbrajać w filtry porowe umożliwiające rejestrację ciśnienia porowego. W zależności od usytuowania czujnika ciśnienia w obrębie piezostożka (ang. *piezocone*) przyjęto



Ryc. 4.1. Metodyka sondowania CPTu



Ryc. 4.2. Końcówka badawcza; a) stożek, filtr porowy końcówki CPTu, b) końcówka CPTu z modułem zasilania bateriami