

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (3), 356–365
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (3)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (3), 356–365
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (3)
http://iks_pn.sggw.pl

Tomasz GODLEWSKI, Łukasz KACZYŃSKI

Institut Techniki Budowlanej, Zakład Konstrukcji Budowlanych i Geotechniki
Building Research Institute, Building Structures and Geotechnics Department

O wyznaczaniu wytrzymałości gruntu na ścinanie połową sondą krzyżakową w świetle nowych wymagań norm europejskich

The determination of shear strength of soil based on field vane test in accordance with new European standards

Słowa kluczowe: maksymalna wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu, wytrzymałość rezydualna, połowa sonda krzyżakowa, Eurokod 7

Key words: peak undrained shear strength, residual/remoulded shear strength, field vane test, Eurocode 7

Wprowadzenie

Zapewnienie wymagań bezpieczeństwa oraz racjonalnego projektowania obiektów budowlanych sprawia, że przy określaniu interakcji konstrukcji z podłożem gruntowym potrzebna jest znajomość odpowiednio dobranych do danego zagadnienia parametrów współpracy używanych w danej metodzie obliczeniowej (Barański i inni, 2008; Godlewski, 2009; Mitew-Czajewska i Siemińska-Lewandowska, 2010; Bogusz, 2013). W tym celu powszechne staje się stosowanie badań *in situ*. Nie-

mniej wiarygodność uzyskiwanych parametrów wymaga odpowiedniego i świadomego doboru „klucza interpretacyjnego”, najlepiej w odniesieniu do warunków lokalnych (Godlewski, 2013; Młynarek, 2013; Rabarijoely i Garbulowski, 2013). Jednym ze sposobów walidacji użytej zależności korelacyjnej jest odniesienie uzyskiwanych wyników do wyników oznaczeń z metody, gdzie pomiar taki można wykonać w sposób bezpośredni. Przykładem może być tu szacowanie wartości wytrzymałości gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu (c_u^1) z wyników pomiarów sondą sta-

¹Należy zauważyć, że według aktualnej wersji Eurokodu 7 (PN-EN 1997-2:2009) wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu oznacza się symbolem „ c_u ”, a określana z pomiarów sondą krzyżakową symbolem „ c_{fv} ”, jednocześnie w literaturze związanej z tematyką badań *in situ* ciągle stosowany jest symbol „ s_u ”, a w polskiej dotychczasowej literaturze ten parametr opisywano symbolem „ τ ”.

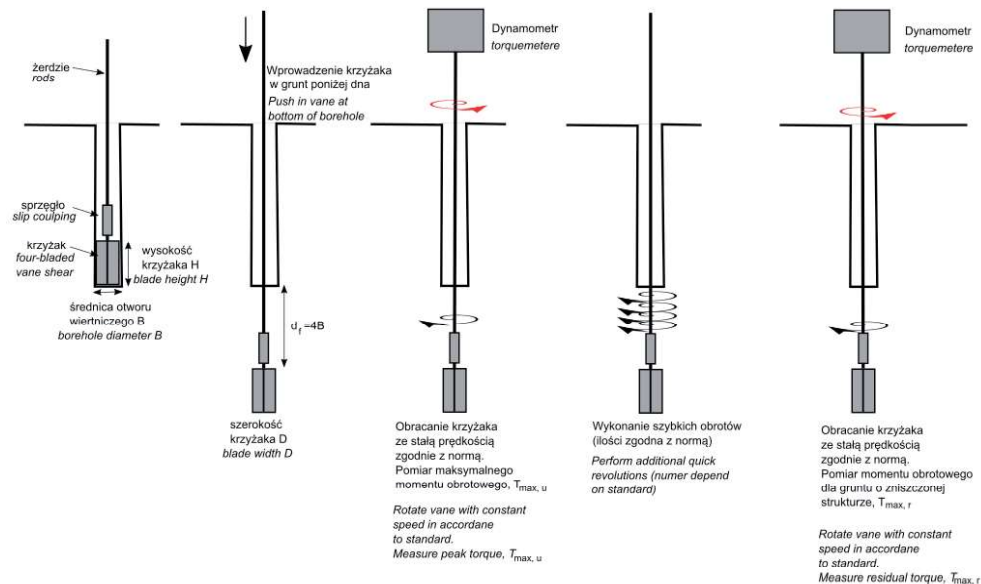
tyczną CPTU. Istnieje wiele publikacji gdzie, z uwagi na rozpatrywany problem geotechniczny (np. nośność i stateczność nasypów drogowych), takie porównania są wykonywane (np. Młynarek i inni, 2012). Porównanie z wynikami z badań sondą krzyżakową (FVT) pozwala na doprecyzowanie stosowanego współczynnika korelacyjnego (N_{kt}) do interpretacji poszukiwanego parametru z pomiarów sondą CPTU (Stefaniak, 2015). Istnieje jednak problem związany z samą metodyką wykonywania pomiarów sondą krzyżakową oraz bezsprzeczny wpływ prędkości prowadzenia badania na uzyskiwane wyniki. W tym kontekście nowe wymagania podane w propozycji normy EN ISO (prEN ISO 22476-9) stoją niekiedy w sprzeczności z dotychczas stosowanymi procedurami krajowymi (PN-B-04452:2002) i praktyką.

Metodyka badania FVT

Właściwe oznaczenie parametrów wytrzymałościowych próbki gruntu w dużej mierze zależy od właściwego pobrania, zabezpieczenia i przetransportowania materiału do badań do laboratorium. Pomimo szerokiego wachlarza dostępnych próbników oraz urządzeń wiertniczych, niektóre rodzaje gruntów naturalnych i antropogenicznych zaliczanych do gruntów słabonośnych są niezwykle trudne do pobrania, bądź jakość pobranych próbek nie odpowiada oczekiwanej klasie. Jest to jeden z przypadków, w których najlepszym rozwiązaniem są badania *in situ*. Jednym z najpopularniejszych badań terenowych gruntów słabych jest sondowanie FVT (Field Vane Test). Procedura badania

sondą krzyżakową na świecie jest podobna. Na przykład normy amerykańska (ASTM D2573), brytyjska (BS 1377:9), czy niemiecka (DIN 4096), w tym także dotychczasowa polska norma PN-B-04452:2002, podawały praktycznie identyczne lub bardzo zbliżone wymagania co do procedury przeprowadzania badania. Schemat uniwersalnej ogólnej procedury badawczej podano na rysunku 1.

Końcówkę sondy należy zagłębić w gruncie możliwie płynnie, z prędkością nie większą niż 20 mm/s, jeżeli jest to możliwe bez uderzeń i wibracji. Norma dotychczasowa PN-B-04452:2002 przewiduje dwa standardowe rozmiary prostokątnych końcówek: 100 × 200 mm dla gruntów słabych (miękkoplastycznych i plastycznych) oraz 40 × 80 mm dla gruntów mocniejszych (twardoplastycznych). Pomiar polega na obracaniu żerdzi zakończonych krzyżakiem, o odpowiednim dla danych gruntów rozmiarze, ze stałą prędkością obrotową ścinania w zakresie 6–12°/min. W przypadku słabych gruntów spoistych o małej wrażliwości prędkość obrotu może wynosić 30°/min. W przypadku wykonywania badania bez rur osłonowych należy zmierzyć, jaka część pomierzonego momentu obrotowego wynika z tarcia na żerdziach. Po osiągnięciu maksymalnej wartości momentu obrotowego dokonuje się 10 szybkich (PN-B-04452:2002), pełnych obrotów przewodu badawczego, a następnie w opisany wcześniej sposób mierzy się wartość rezydualną. Wartość wytrzymałości na ścinanie (c_{FV}) obliczana jest po odniesieniu momentu obrotowego do wymiarów użytego w trakcie badania krzyżaka. Badanie sondą krzyżakową oprócz możliwości oznaczenia maksymalnej i rezydualnej wytrzymałości



RYSUNEK 1. Schematyczna uniwersalna procedura badania FVT
 FIGURE 1. Schematic universal FVT test procedure

ści na ścinanie w warunkach bez odplywu pozwala również na ocenę wrażliwości gruntu oraz oszacowania współczynnika prekonsolidacji (Lechowicz i Szymański, 2002). W przytoczonej publikacji, jak też w załączniku informacyjnym do Eurokodu 7 (PN-EN 1997-2:2009, zał. I), podano również współczynniki poprawkowe² stosowane w badaniach sondą FVT. Podane współczynniki są uzależnione od wskaźnika plastyczności (I_p) czy też granicy płynności (w_L) badanego gruntu, lub mogą być ustalone bezpośrednio dla warunków lokalnych (Wolski, 1988; Lechowicz i Szymański, 2002).

Badanie to stało się bardzo popularne w zakresie badań odbiorczych i kontrolnych prowadzonych w ramach

nadzorów geotechnicznych w przypadku odbiorów dna wykopów lub warstw wbudowywanych materiałów nasypowych w budownictwie drogowym. Nie bez znaczenia jest też wprowadzona przez Borowczyka (2004) modyfikacja klasycznej sondy dynamicznej (DPL) do stosowania łącznego jako sondy udarowo-obrotowej (SLVT). Modyfikacja ta polegała na zastosowaniu w standardowym zestawie badań dynamicznych odpowiednio zwymiarowanej końcówki krzyżakowej³, co pozwalało dokonywać pomiarów postępu zagłębiania dynamicznego sondy oraz dodatkowo wykonywania pomiarów (ścięć) na danej głębokości. Metoda ta jednak nie doczekała się standaryzacji, ale z uwagi na swoją

²Liczne badania wykazały konieczność stosowania skorygowanej wartości wytrzymałości na ścinanie do obliczeń nośności i stateczności.

³Analogia i kontynuacja założeń podanych dla sondy ITB-ZW przez Boleńskiego (1975).

kompleksowość⁴ zyskała dużą popularność. Borowczyk (2004) wykazał dobre korelacje dla tej metody określenia parametrów zagęszczenia (kontrola zagęszczenia nasypów), podając zależność oporu na obrót sondy SLVT od wskaźnika zagęszczenia (dla piasków drobnych i średnich). W praktyce trudno jest jednak wykonać ten pomiar poprawnie (tzn. w sposób zbliżony do wymagań klasycznej sondy FVT), używając popularnych, ręcznych zestawów badawczych (z kluczem dynamometrycznym do odczytu momentu obrotowego, przy którym następowało ścinanie). Trudność stwarza przede wszystkim utrzymanie stałej, niewielkiej prędkości obrotu krzyżaka na poziomie 6–12°/min, zapewniającej ścięcie gruntu w warunkach bez odpływu, co niekiedy następuje dopiero po 20 min. Inną trudność rodzi subiektywność przy odczycie wartości maksymalnego momentu ścinającego, zwłaszcza przy jego małych wartościach. Bardzo trudno jest również jednoznacznie określić wartości tarcia przewodu badawczego (w przypadku badania bez rur osłonowych) i jego udział w ostatecznie zmierzonej wartości maksymalnego momentu ścinającego. Utrzymanie tych wymagań (stały pomiar prędkości i eliminacja wpływu tarcia) była możliwa tylko w badaniach sondą PSO-1.

Norma PN-EN 1997-2 dopuszcza jako jedno z badań terenowych, zwłaszcza dla gruntów słabych, sondowanie FVT. Wykonanie badania zgodnie z nor-

⁴Połączenie badań dynamicznych oceniających stopień zagęszczenia w gruntach niespoistych (gruboziarnistych) i oznaczenia wytrzymałości na ścinanie za pomocą zmodyfikowanej końcówki krzyżakowej w gruntach spoistych (drobnoziarnistych) i niespoistych.

mą prEN ISO 22476-9, która ma dopiero status „draftu” (po głosowaniu, ale jeszcze przed wydaniem), różni się od stosowanej dotychczas w Polsce normy w kilku zasadniczych punktach. Prędkość obrotu krzyżaka zdaje się mieć największy wpływ na uzyskiwane wartości. Dotychczas prędkość ścinania była określona w przedziale 6–12°/min, w wyjątkowych okolicznościach mogła wynosić 30°/min. W draftcie normy EN ISO 22476-9 prędkość wykonywania badania jest określona na 360°/min. W literaturze światowej można spotkać się z rekomendowanymi raczej małymi prędkościami ścięcia w zakresie 6–12°/min, w Polsce norma badań polowych z 1974 roku prędkość 5°/min (max. do 10°/min). Nie bez znaczenia jest też czas, w którym powinno nastąpić ścięcie (więcej na temat efektów związanych z rozmiarem końcówki i wpływem czasu można znaleźć w pracy Perez-Foguet i innych z 1997 roku), według normy EN ISO średnio 2–5 min od wprowadzenia krzyżaka na daną głębokość (wytyczne norweskie (NGF) z 1982 roku podawały nawet bardziej restrykcyjny zakres 1–3 min).

Nowa specyfikacja techniczna prEN ISO 22476-9 wprowadza również pewne zmiany w nomenklaturze uzyskiwanych ta metodą parametrów. Dotychczas badania sondą krzyżakową pozwalały na określenie wytrzymałości na ścinanie w gruntach o nienaruszonej strukturze oraz wytrzymałości na ścinanie gruntu w stanie naruszonym. Badanie w stanie naruszonym odbywało się po określeniu wytrzymałości, po cztery szybkich obrotach krzyżaka (PN-B-04452:2002). Nowe zapisy draftu EN ISO 22476-9 definiują trzy rodzaje wytrzymałości:

wytrzymałość na ścinanie gruntu o nie-naruszonej strukturze (c_{fi}), resztkową (residual) wytrzymałość na ścinanie ($c_{res,fi}$) – określoną jako pomierzoną, stałą wartość lub po 180° obrotu, oraz wytrzymałość na ścinanie po naruszeniu struktury gruntu (remoulded) ($c_{rem,fi}$), wykonywane po 10 pełnych obrotach krzyżaka. Dodatkowo w normie prEN ISO 22476-9, w zależności od sposobu prowadzonych pomiarów, wydzielono cztery rodzaje/typy badań (tab. 1), podając również na tej podstawie klasy stosowności i jakości poszczególnych typów badań (tab. 2).

Chcąc prześledzić wpływ nowych propozycji sposobu wykonywania badań sondą FVT (głównie wpływ prędkości badania) na wyniki oznaczeń parametru wytrzymałości na ścinanie, wykonano serię badań porównawczych dla kilku typów gruntów (naturalne grunty: mady, oraz grunty organiczne: namuły i torfy, oraz grunty antropogeniczne: popioły).

Metodyka badań sondą VANE TEST GM 4W

Na rynku geotechnicznej aparatury pomiarowej występują różne automatyczne urządzenia pozwalające na wykonanie badania sondą krzyżakową. Mają one wiele zalet w stosunku do zestawów manualnych. Podstawową przewagą jest możliwość zadania stałej prędkości obrotowej oraz ciągła rejestracja momentu obrotowego w funkcji wykonanego obrotu. Automatyzacja zbierania tych danych uniezależnia je od subiektywnego odczytu operatora. Niektóre z dostępnych zestawów do automatycznych sondowań krzyżakowych, mają również ciekawe rozwiązania umożliwiające wytarowanie wartości momentu obrotowego, uwzględniając tarcie na żerdziach. W trakcie badań używano urządzenia VANE TEST GM 4W Fińskiej firmy Geomachine. W przypadku tego produktu określenie tarcia na poboczniczy

TABELA 1. Rodzaje badań obrotową sondą krzyżakową według prEN ISO 22476-9
TABLE 1. Type of field vane tests by prEN ISO 22476-9

Badanie Test	Pomiar Measurement	Przekazywanie momentu obrotowego Torque transfer	Zapis momentu obrotowego i obrotu Torque and rotation registration
FVT a	w czasie zapuszczania ciągly pomiar momentu obrotowego w stosunku do obrotu	brak	moment obrotowy – rzeczywisty obrót
FVT b	w czasie wyciągania ciągly pomiar momentu obrotowego w stosunku do obrotu	przekazywanie momentu obrotowego przez przedłużki z rurami osłonowymi	moment obrotowy – pozorny obrót
FVT c	w czasie wyciągania ciągly pomiar momentu obrotowego w stosunku do obrotu	przekazywanie momentu obrotowego przez przedłużki bez rur osłonowych, ze złączkami zaciskowymi	moment obrotowy – pozorny obrót
FVT d	w czasie wyciągania ciągly pomiar maksymalnego momentu obrotowego	przekazywanie momentu obrotowego przez przedłużki bez rur osłonowych, ze złączkami zaciskowymi	maksymalny moment obrotowy

TABELA 2. Klasy zastosowań w zależności od rodzaju badania według prEN ISO 22476-9
TABLE 2. Application classes depending on the test type by prEN ISO 22476-9

Klasy zastosowań Application class	Badanie Test	Minimalna dozwolona dokładność ^a Allowable minimum accuracy		Maksymalny obrót pomiędzy pomiarami Maximum rotation between measurements	Sugerowane wykorzystanie Suggested use	
					grunt ^b soil	Interpretacja ^c Interpretation
1	FVT a	moment obrotowy kąta obrotu głębokość badania	0,5 Nm 1° lub 1% 0,1 m lub 1%	1°	A do D	H
2	FVT a FVT b	moment obrotowy kąta obrotu głębokość badania	1 Nm 5° lub 1% 0,1 m lub 1%	2°	A do D	H, H*
3	FVT c	moment obrotowy kąta obrotu głębokość badania	2 Nm 10° lub 1% 0,2 m lub 1%	5°	A do D	H*
4	FVT d	moment obrotowy głębokość badania	5 Nm 0,2 m lub 1%	Nie dotyczy	C do D	H*

UWAGA! Dla wyjątkowo słabych gruntów mogą być wymagane jeszcze większe żądania, co do dokładności!

^aMinimalna dozwolona dokładność mierzonego parametru jest większą wartością z dwójga wybranych. Względna dokładność dotyczy mierzonych wartości, a nie mierzonego zakresu.

^bA. Jednorodne grunty (zazwyczaj $c_u < 2$ MPa); B. Gliny, iły i piaski; C. Gliny i iły; D. Gliny i iły.

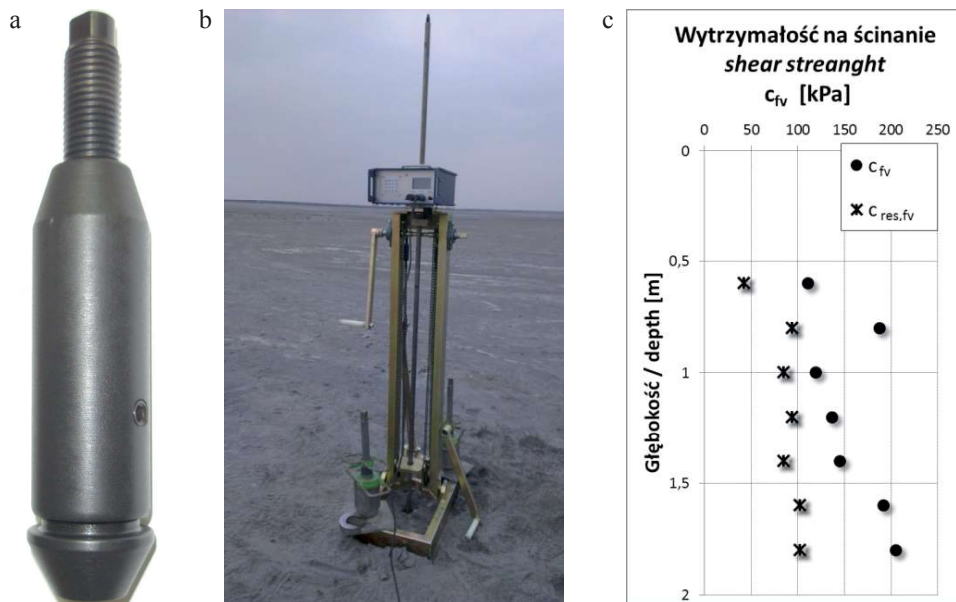
^cH interpretacja w kontekście parametrów inżynierskich z towarzyszącym niskim poziomem niepewności;

H* interpretacja w kontekście parametrów inżynierskich z towarzyszącym wysokim poziomem niepewności.

przewodu badawczego odbywa się dzięki zastosowaniu specjalnego „sprzęgła” w elemencie łączącym żerdzie z krzyżakiem (rys. 2).

Tego typu rozwiązanie pozwala na 2° obrotu kolumny żerdzi bez przenoszenia go na łopatki krzyżaka, co pozwala na zerwanie kontaktu z gruntem (badanie typu FVTa). Umożliwia to pomniejszenie wartości maksymalnego momentu obrotowego o zarejestrowaną wartość początkową. Urządzenie jest uniwersalne z uwagi na sposób montażu – pozwala na instalację zarówno na masztach samobieżnych wiertnic, jak i na przenośnym, lekkim statywie (rys. 2) mocowanym do

gruntu kotwami ślimakowymi. Statyw pozwala również na pogrążanie krzyżaka dzięki korbowo-łańcuchowemu systemowi wciskającemu. Po zakończeniu badania służy on jako wygodna wyciągarka. Obrót krzyżaka jest realizowany poprzez elektryczny silnik zintegrowany z czujnikiem dynamometrycznym oraz jednostką sterującą. Maksymalny uzyskiwany moment obrotowy wynosi 100 kNm, a jego wartość jest rejestrowana z dokładnością do 1 kNm. Urządzenie na bieżąco rejestruje i wyświetla wykres zależności wartości siły od kąta obrotu. Po zakończeniu badania wyświetlana jest wartość wytrzymałości na ścinanie grun-



RYSUNEK 2. (a) – Widok tzw. sprzęgła (konstrukcja według Geomachine); (b) – kompletny zestaw FVT na stojaku w trakcie badań; (c) – przykładowy zapis wyników w profilu głębokościowym
 FIGURE 2. (a) – view of the clutch (construction by Geomachine); (b) – complete FVT set on the stand during tests; (c) – record results on depth profile

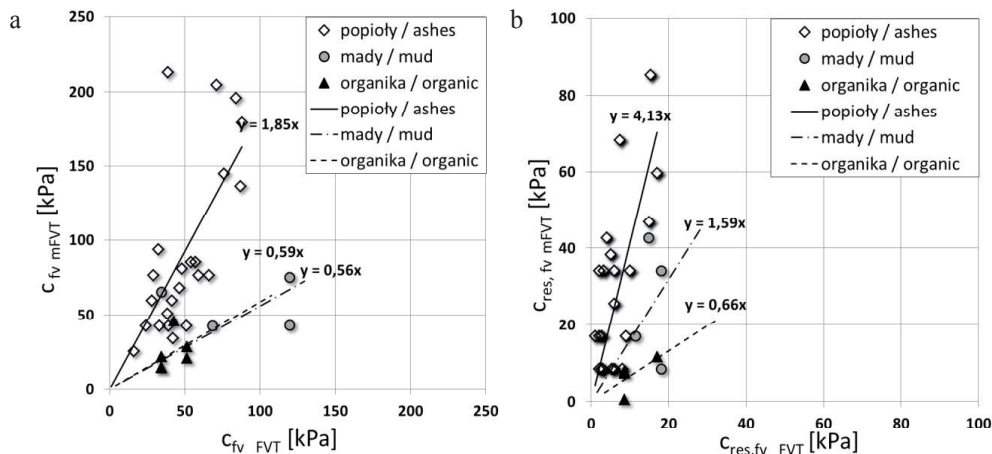
tu dla danej głębokości ścięcia, obliczono na podstawie zebranych danych oraz wybranej uprzednio wielkości krzyżaka.

Wyniki badań

Wyniki badań porównawczych, przeprowadzonych na trzech poletkach doświadczalnych, przedstawiono na rysunku 3a (wartości maksymalne) i rysunku 3b (wartości rezydualne). Badania wykonano w bezpośrednim sąsiedztwie (ok. 1,0–1,5 m od siebie) jako serie badań zestawem ręcznym z pomiarem kluczem dynamometrycznym (mFVT) oraz zestawem automatycznym (FVT) urządzeniem VANE TEST GM 4W zamo-

cowanym na stojaku. Metodyka badania mFVT jest tożsama z metodyką podaną w pracach Borowczyka (2004) dla sondy SLVT, metodykę badania zestawem automatycznym FVT opisano wcześniej. Wykorzystano trzy poletka eksperymentalne dobrze udokumentowane badaniami referencyjnymi w postaci wierceń oraz sondowań CPTU (znajomość profilu i jednorodność badanych gruntów).

Badania ręczne wykonywano przy prędkości obrotu krzyżaka zbliżonej do nowych wymagań ($\geq 360^\circ/\text{min}$) przez tego samego operatora, a badania automatyczne wykonywano przy prędkości obrotu krzyżaka równej $12^\circ/\text{min}$.



RYSUNEK 3. Zbiorcze porównanie wyników badań zestawem ręcznym (mFVT) i automatycznym (FVT): (a) maksymalne wytrzymałości na ścinanie (c_{fv}); (b) rezydualne wytrzymałości na ścinanie ($c_{res, fv}$)

FIGURE 3. Collective compare of the manual (mFVT) and automatic (FVT) vane test results: (a) maximum shear strenght (c_{fv}); (b) residual shear strenght ($c_{res, fv}$)

Podsumowanie i dyskusja

Przeprowadzone badania porównawcze wskazują na wyraźne różnice w wartościach uzyskanych przy badaniu sondą FVT między zestawem ręcznym a zestawem automatycznym. W przypadku badań w popiołach wyniki uzyskane zestawem manualnym były średnio o 85% większe w stosunku do wytrzymałości na ścinanie uzyskanej przy mniejszej prędkości zestawem automatycznym. Wartości parametrów uzyskiwane przy użyciu sondy automatycznej w przypadku gruntów naturalnych (mady i grunty organiczne) natomiast są średnio o około 40% większe od wyników uzyskanych zestawem ręcznym. W przypadku popiołów różnica wynika ze specyfiki tych osadów, stosunkowo szybkie ścięcie zestawem ręcznym powoduje większą mobilizację wytrzymałości strukturalnej (charakterystycznej dla popiołów).

W ściśliwych i plastycznych gruntach naturalnych natomiast zbyt mała prędkość ścinania zestawem automatycznym powoduje zawyżanie wyników pomiaru wytrzymałości na ścinanie wynikającej z częściowego odpływu wody z porów podczas badania. Podobne zachowanie można zauważyć w przypadku określania wytrzymałości rezydualnej, niemniej widać zmianę zachowania w madach w stosunku do gruntów organicznych. Można to wytłumaczyć uplastycznieniem mad, co wpływa na zmianę warunków drenażu (zmniejszenie przepuszczalności).

Jak widać pomimo skrajnie różnych zachowań wynikających z charakteru i właściwości analizowanych osadów widoczne rozbieżności w wynikach wskazują na bardzo istotny wpływ prędkości na wynik badania i jego wiarygodność. Szersze zastosowanie uzyskiwanych wyników (np. w kontekście wskazania poprawnego współczynnika N_{kt}) wyma-

ga oczywiście dalszych badań i analiz. Wykonane porównania na trzech poligonach miały na celu porównanie metod i wskazanie istoty doboru prędkości, warunków badania w kontekście nowych propozycji oraz wymagań dla tej metody badawczej.

Wnioski

Zaletą badań polowych jest z pewnością otrzymanie szybkiej i obiektywnej (ujednolicanie procedur wykonywania) informacji na temat warunków podłoża uzyskanych w warunkach rzeczywistych (*in situ*). Badanie FVT jest szybkie i pozwala uzyskać wartość wytrzymałości na ścinanie mierzone wprost. Z tego względu, teoretycznie, świetnie nadaje się do walidacji innych metod badawczych, na przykład wartości N_{kt} dla badań CPTU. Nie należy jednak zapominać, co podkreślają badacze (za Młynarek, 2013), że wpływ na wartość „wiarygodnego parametru geotechnicznego gruntu” ma kilka czynników, między innymi: jakość zastosowanego do testu sprzętu, poziom edukacji i staranności wykonania testu przez operatora, losowość mierzonych parametrów podczas badania, jakość próbek do badań walidujących w laboratorium. Na końcu tego procesu poznawczego jest dobór odpowiedniej metody interpretacji, która wymaga ustalenia zależności korelacyjnej wypracowanej dla podobnych warunków, popartej badaniami laboratoryjnymi i doświadczeniem regionalnym (Godlewski, 2013). W bilansie czynników wpływających na niepewności uzyskiwanych wyników przestrzeganie procedur oraz standaryzacja metod i sprzętu ma kluczowe znaczenie.

Stąd bardzo ważne jest wypracowywanie wspólnych standardów (na poziomie europejskim). W kontekście opisanych, niekiedy dyskusyjnych propozycji daje się niestety zauważyć brak stanowiska krajowego i widocznego zaangażowania w prace normalizacyjne. Opisywana propozycja normy prEN ISO 22476-9 została przyjęta i obecnie jest na etapie dalszych prac w Komitecie Technicznym TC 341 z uwagi na zgłoszone liczne uwagi w trakcie głosowania. Planowana publikacja ma nastąpić do końca 2016 roku. Autorzy po lekturze zgłoszonych uwag do TC 341 zakładają, że opisane zwiększenie prędkości ścinania to raczej efekt pomyłki. Niemniej z praktyki badań (głównie na budowach) należy wyeliminować stosowanie zestawów ręcznych dla sondowań FVT, ze względu na trudność utrzymania właściwych reżimów podczas badania (prędkość ścinania), co jak wykazano ma istotny wpływ na uzyskiwane wyniki.

Literatura

- Barański, M., Dąbska A., Popielski, P. i Szczepański, T. (2008). Numerical model verification on the basis of the measurements and investigation carried out during the structure realization. W *Proc. of the Int. Geotechnical Conference*, Saint Petersburg 16-19 June 2008, 173-179.
- Bogusz, W. (2013). Stosowanie współczynników częściowych do parametrów geotechnicznych według Eurokodu 7 w obliczeniach stateczności MES. *Acta Scientiarum Polonorum, Architektura-Budownictwo* 12 (3), 27-38.
- Boleński, M. (1975). *Instrukcja wykonywania badań podłoża gruntowego sondą udarowo-obrotową typu ITB-ZW*. Instrukcja ITB nr 182. Warszawa.

- Borowczyk, M. (2004). *Metody badań podłoża gruntowego – konspekt z wykładów* (materiały niepublikowane). Warszawa: Wydział Geologii UW.
- Godlewski, T. (2009). Wykonywanie i interpretacja badań polowych wg PN-EN 1997-2. *XXIV Ogólnopolskie WPPK, t. 1*, 67-108.
- Godlewski, T. (2013). Interpretacja badań polowych a Eurokod 7. *Acta Scientiarum Polonorum, Architektura-Budownictwo 12 (3)*, 61-72.
- Lechowicz, Z. i Szymański, A. (2002). *Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Mitew-Czajewska M. i Siemińska-Lewandowska A. (2010). *In situ geotechnical surveys and static analysis of deep excavations. Soil parameters from in situ and laboratory tests*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu 495-504.
- Młynarek, Z., (2013). Metody i ograniczenia w wyznaczaniu parametrów geotechnicznych gruntów w badaniach in situ. *XXVIII Ogólnopolskie WPPK, t. 1*, 399-440.
- Młynarek Z., Stefaniak, K. i Wierzbicki J. (2012). Geotechnical parameters of alluvial soils from in situ tests. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, 59 (1)*, 3-22.
- Perez-Foguet A., Ledesma A., Huerta A. (1997). Analysis of the vane test considering size and time effects. *Publication CIMNE, 122*, 1-40.
- PN-B-04452:2002. *Geotechnika. Badania polowe*.
- PN-EN 1997-2:2009. *Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*.
- prEN ISO 22476-9. *Ground investigation and testing – Field testing – Part 9: Field vane test*. Draft International Standard (2014), ISO/TC 182/SC 1 and voting results (CEN/TC 341 N 691).
- Rabarijoely, S. i Garbulewski, K. (2013). Simultaneous interpretation of CPT/DMT tests to ground characterisation. W *Proc. of the 18th Int. Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, 1337-1340.
- Stefaniak, K. (2015). Assessment of shear strength in silty soils. *Studia Geotechnica et Mechanica, 37 (2)*, 51-55.
- Wolski, W. (1988). Geotechnical Properties of Peats and Peaty Soil. Method of Their Determination. W *General Report, Proc. 2nd Baltic Conf. on Soil Mech. and Foun. Eng.*, Tallin.

Streszczenie

O wyznaczaniu wytrzymałości gruntu na ścinanie polową sondą krzyżakową w świetle nowych wymagań norm europejskich. Badanie sondą krzyżakową jest w założeniach bardzo prostym sposobem bezpośredniego pomiaru wytrzymałość gruntu na ścinanie. Należy jednak pamiętać, że pomimo swej prostoty wymaga wiele uwagi i precyzji, a niewłaściwie wykonane prowadzi do bardzo istotnych przeszacowań parametru wytrzymałości gruntu. W artykule zostaną skonfrontowane zagadnienia związane z metodyką wykonywania badań sondą FVT według różnych standardów, w tym nowych zaleceń Eurokodu 7, poparte wynikami badań własnych na poligonach doświadczalnych. Uzyskane różnice w wynikach wskazują na konieczność dobierania odpowiedniej metodyki (dobór prędkości, obiektywność techniki badawczej) do warunków prowadzenia badania (rodzaj gruntu).

Summary

The determination of shear strength of soil based on field vane test in accordance with new European standards. Vane test is in the assumptions very simple way for direct measurement of shear strength of soil. However, despite its simplicity it requires a lot of attention and precision, and in properly conducted leads to significant overestimation of strength parameter. The article will be facing issues related to testing methodology for FVT probe, according to various standards, including new recommendations of Eurocode 7, supported by the results of own research on test sites. Differences in obtained results point to the necessity of selecting a suitable methodology (the choice of velocity, objectivity of testing techniques) for given testing conditions (soil type).

Authors' address:

Instytut Techniki Budowlanej
Zakład Konstrukcji Budowlanych i Geotechniki
02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21,
Poland
e-mail: t.godlewski@itb.pl, l.kaczynski@itb.pl