

Zbigniew MLYNAREK, Wojciech TSCHUSCHKE

Katedra Geotechniki
Akademia Rolnicza, Poznań

OGRANICZENIA W STOSOWANIU ZALEŻNOŚCI EMPIRYCZNYCH Z BADAŃ IN SITU

Streszczenie. W artykule przedstawiono uwarunkowania, które mają istotny wpływ na jakość zależności korelacyjnych, które uzyskuje się z różnych badań in situ. Przedstawiono wpływ trzech grup czynników, które uważa się współcześnie za zasadnicze w tej kwestii, a mianowicie: wpływ jakości sprzętu zastosowanego w badaniu in situ, wpływ techniki badania, w tym prędkości penetracji, geometrii końcówki penetrometru lub końcówki sondy obrotowej oraz wpływ jakości próbki, która jest przeznaczona do badań laboratoryjnych.

LIMITATIONS TO APPLICATION OF EMPIRICAL RELATIONSHIP FROM IN SITU TESTS

Summary. The article presents factors having a significant effect on the quality of correlations obtained from different in-situ tests. The study discusses the effect of three groups of factors, at present considered essential in this respect, i.e. the effect of the quality of equipment applied in in-situ testing, the effect of the testing technique, including the penetration rate, the geometry of the piezocone or the vane probe cross, and the effect of quality of the sample for laboratory analyses.

1. Wstęp

Zależności empiryczne z badań in situ są powszechnie stosowanym sposobem oceny parametrów geotechnicznych gruntów budujących podłoże gruntowe. W zależnościach empirycznych, co jest ich cechą charakterystyczną, występują mierzone parametry testu, związane z techniką zastosowanego badania in situ oraz parametry, które opisują właściwości fizyczne, wytrzymałościowe i odkształceniowe ośrodka gruntowego. Z definicji zależności empirycznej wynika wprost, że jest to zależność, która powinna spełniać bardzo istotne kryteria, a mianowicie:

- kryteria statystyczne,
- powinna być skonstruowana na reprezentatywnych parametrach, które uzyskuje się z pomiarów w badaniach in situ lub badaniach laboratoryjnych.

Kryteria statystyczne odgrywają szczególną rolę, bowiem ośrodek gruntowy spełnia wszystkie warunki ośrodka stochastycznego [8]. Analizy statystyczne obejmują zatem: identyfikowanie zmiennych zależnych i niezależnych, określenie statystycznego rozkładu zmiennej niezależnej, zbadanie statystycznej istotności zależności korelacyjnej, ustalenie istotności wpływu poszczególnych zmiennych niezależnych na zmienną zależną oraz ustalenie tzw. reprezentatywnych parametrów (zmiennych niezależnych) do skonstruowania zależności empirycznej. W geotechnice to zagadnienie jest niezwykle ważne, gdyż parametry wprowadzane do zależności empirycznych uzyskuje się z badań in situ i badań laboratoryjnych. W doświadczeniu laboratoryjnym badania prowadzi się na próbce gruntu, a rezultat tego badania należy przenieść na warstwę geotechniczną, która występuje w podłożu. W tym bardzo trudnym zadaniu szczególnego znaczenia nabiera ocena jakości pozyskanej próbki gruntu z podłoża i ocena ewentualnej zmiany jej właściwości, po dostarczeniu do laboratorium.

Istotnym wsparciem dla oceny jakości zależności empirycznej i zidentyfikowania zmiennych zależnych i niezależnych w tej zależności jest podejście fizyczno-matematyczne. Każde bowiem badanie in situ jest procesem fizycznym, na przebieg którego mają wpływ czynniki, które występują w matematycznym opisie tego procesu. Ocenę jakości zależności empirycznej często komplikuje fakt, że do jej skonstruowania wykorzystuje się zmienne uzyskane z dwóch testów terenowych. Czynniki wpływające na zmienne, występujące w dwóch odmiennych testach, mogą się od siebie różnić w zasadniczy sposób. Przykładem takiej sytuacji może być powszechnie znana zależność pomiędzy oporem stożka z badania CPTU a wytrzymałością na ścinanie bez drenażu wyznaczoną w badaniu sondą obrotową lub w badaniu trójosiowego ściskania. W artykule przedstawiono przykłady wpływu wyżej podanych czynników na powszechnie stosowane zależności empiryczne, ograniczając się jednak do najczęściej wykorzystywanych technik badań in situ, tj. sondowań statycznych: CPTU i SCPTU, badania sondą obrotową FVT i badania dylatometrycznego DMT.

2. Czynniki wpływające na zależności empiryczne

Dobrym punktem wyjścia dla sprecyzowania czynników wpływających na analizowaną zależność korelacyjną jest zapisanie prawa fizycznego, które opisuje proces badania terenowego, z którego mierzone parametry są wprowadzane do zależności korelacyjnej. Należy stwierdzić, że metoda ta jest często pomijana lub czynniki, które opisują proces badania in situ, identyfikowane są drogą pośrednią. Dobrym przykładem wykorzystania prawa fizycznego w celu identyfikacji wpływu czynników na analizowany proces jest metoda statycznego sondowania CPTU. Proces fizyczny w tej metodzie jest zdefiniowany przez przemieszczanie się stożka w ośrodku gruntowym (prędkość penetracji), przy czym proces ten jest ekwiwalentny do procesu przemieszczania się punktu materialnego w ośrodku wykazującym tarcie [2]. Funkcja opisująca ten proces jest następująca:

$$(P, V_p, \Theta_1, \Theta_2) = 0 \quad (1)$$

gdzie :

P – mierzony parametr procesu, np. opór stożka – q_c , dynamiczne ciśnienie wody w porach – u_c , tarcie na tulei ciernej – f_s ,

V_p – prędkość penetracji,

Θ_1 – cechy stożka,

Θ_2 – cechy ośrodka gruntowego.

Rozwiązanie równania (1) jest bardzo skomplikowane, ponieważ wielkość Θ_2 jest funkcją kilku zmiennych. Stosunkowo prosto przedstawia się wpływ zmiennej Θ_1 na rozwiązanie równania (1), bowiem cechy stożka są w metodzie CPTU jednoznacznie zdefiniowane poprzez geometrię stożka; kąt wierzchołkowy i powierzchnię podstawy oraz moduł sztywności materiału stożka. Standard badania – The International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test CPT and Cone Penetration Test with Pore Pressure Measurement CPTU wyznacza stałą prędkość penetracji, równą 2 cm/s. Z zapisu równania (1) wynika jednak również, że zmiana Θ_1 , np. przez zróżnicowanie geometrii stożka lub w przypadku badania sondą obrotową geometrii krzyżaka, zmienia rozwiązanie tego równania. Rozwiązanie równania (1) uzyskuje się współcześnie dwiema drogami. Pierwszą, stanowi rozwiązanie teoretycznego modelu wytrzymałościowego skonstruowanego w ogólnych ramach teorii plastyczności [6, 21]. Drugim sposobem rozwiązania równania (1) są

zależności empiryczne, skonstruowane pomiędzy mierzonym parametrem procesu, np. oporem stożka, a wyselekcjowanymi zmiennymi, opisującymi wielkość Θ_2 [20]. Przykładem tego rozwiązania jest powszechnie znana zależność pomiędzy oporem stożka a wytrzymałością na ścinanie bez drenażu [13, 20]:

$$N_{kr} = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{S_u} \quad (2)$$

gdzie :

- q_t – skorygowany opór stożka,
- σ_{vo} – składowa pionowa całkowitego naprężenia geostaticznego,
- S_u – wytrzymałość na ścinanie bez drenażu.

Zmienne opisujące wielkość Θ_2 mogą być zapisane w postaci niejawnej lub dyskretnej. Wyraźnie należy podkreślić, że niektórych ze zmiennych nie można zapisać w postaci dyskretnej, np. makrostruktury. Jeśli tego rodzaju zmienne wystąpią w zapisie procesu charakteryzującego badanie terenowe, wówczas powinno to być sygnałem do zwrócenia uwagi na możliwość wykorzystania dostępnej zależności korelacyjnej, a także doboru właściwego testu i sprzętu do wykonania badania w analizowanej sytuacji geotechnicznej.

Poniżej podaje się kilka istotnych czynników, które wpływają na zależności korelacyjne, uzyskane z badania sondą statyczną, sondą obrotową i dylatometru, w których zmienne opisujące wielkość Θ_2 występują w postaci dyskretnej.

3. Czynniki wpływające na rejestrację mierzonych parametrów w badaniach: sondą statyczną, sondą obrotową i dylatometrem

W teście statycznej penetracji CPTU mierzone są trzy parametry: opór stożka – q_c , tarcie na tulei ciernej – f_s i ciśnienie wody w porach – u_c . Każdy z tych parametrów jest zmienną losową, gdzie w i -tym teście replikacyjnym mierzona wartość x_i może być zapisana zgodnie z równaniem (3) zależnością [8]:

$$x_i = \alpha \cdot \zeta + \beta + \delta_i \quad (3)$$

gdzie :

- x_i – parametry testu (np: q_c , f_s , u_c),
- δ - zmienna losowa o średniej zero i wariancji $V(\delta)$.

Wartość oczekiwana zmiennej x_i ;

$$E(x) = \alpha \cdot \zeta + \beta \quad (4)$$

Parametry α i β wyrażają ocenę dokładności, natomiast $V(\delta)$ reprezentuje poziom precyzji testu. Im większa wariancja, tym mniejsza precyzja.

Bardzo interesująca jest analiza, której rezultat ma niewątpliwy wpływ na konstruowanie zależności korelacyjne i jest analizą związaną ze zmianą warunków badania w wyniku zastosowania niestandardowego sprzętu albo wykonania badań przez niewykwalifikowanego operatora. Te zmienne są zapisane w wielkości Θ_1 równania (1). W przypadku sondowania statycznego za standardowe elementy sprzętu należy uznać parametry opisujące geometrię stożka oraz prędkość penetracji. W przypadku sondy obrotowej: geometrię krzyżaka oraz prędkość ścinania. W badaniu dylatometrycznym parametry te określa geometria łopatki dylatomietru oraz sposób i prędkość jej wprowadzania w podłoże. Na losowość pomiaru zmiennej x_i ma także wpływ jakość urządzeń rejestrujących mierzone parametry. Efekt wpływu na zmienną x_i czynników: operatora i sprzętu, jeśli badanie wykonuje j-ty operator, używając i-tych, różnych penetrometrów w k-tej replikacji może być zapisany formułą [8]:

$$x_{ijk} = \zeta + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \delta_{ijk} \quad (5)$$

gdzie:

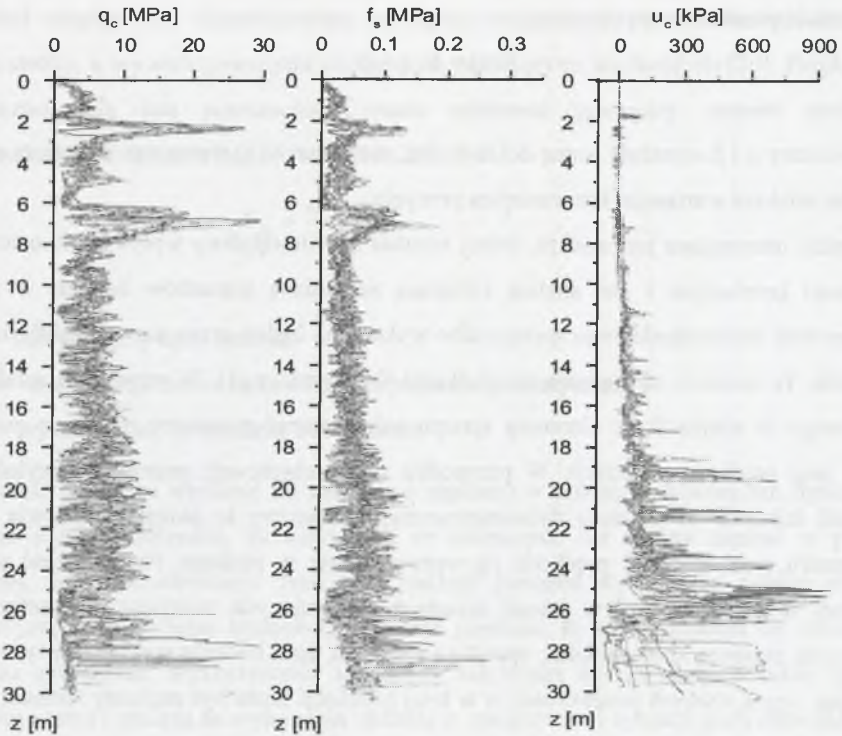
α_i - reprezentuje efekt penetrometru (sondy obrotowej lub dylatomietru) z wartością oczekiwaną $E(\alpha_i) = 0$,

β_j - reprezentuje efekt operatora, gdzie wartość oczekiwana $E(\beta_j) = 0$,

γ_{ij} - reprezentuje interakcje pomiędzy penetrometrem i operatorem z $E(\gamma_{ij}) = 0$,

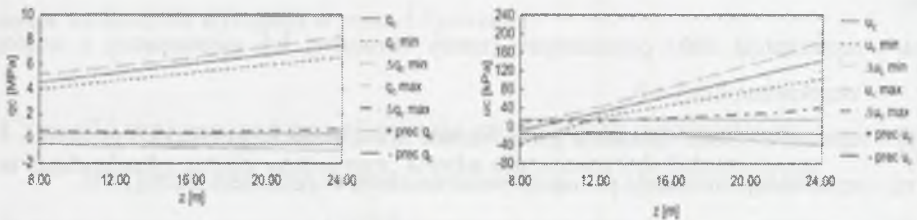
δ_{ijk} - zmienna losowa ze średnią zero i wariancją $V(\delta)$.

Ze wzoru (5) jednoznacznie wynika, że jeśli parametry α, β, γ będą zmiennymi losowymi, to mogą mieć zasadniczy wpływ na precyzję oceny mierzonych parametrów w testach CPTU, FVT i DMT. Warto więc przytoczyć kilka przykładów, które dobrze dokumentują wpływ omawianych czynników na mierzone parametry w tych badaniach. Na rysunku 1 pokazano wyniki testu replikacyjnego badania CPTU, który przeprowadził jeden operator, penetrometrem HYSON 200 kN firmy ap van den Berg w ośrodku anizotropowym, który stanowią osady poflotacyjne, zdeponowane na składowisku Żelazny Most.



Rys. 1. Krzywe penetracji z badania replikacyjnego CPTU [20]

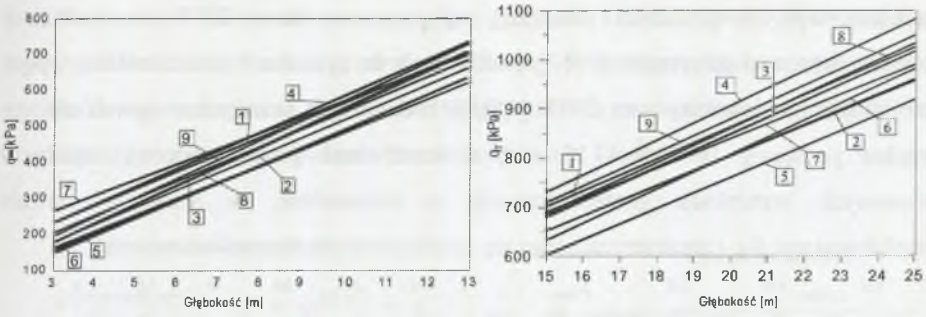
Fig. 1. CPTU replication test profile [20]



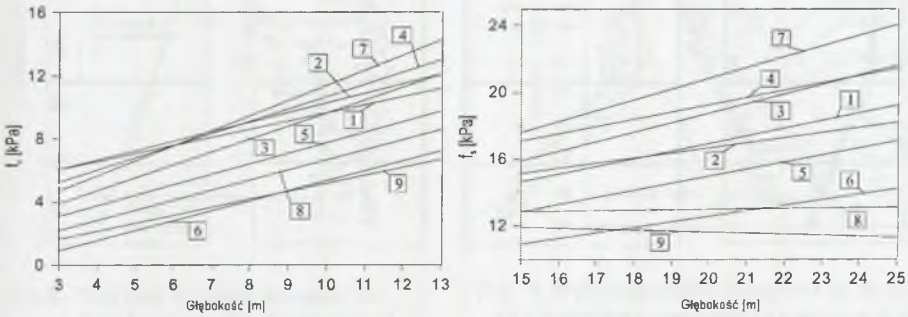
Rys. 2. Parametry precyzji charakterystyk penetracji

Fig. 2. Precision parameters for penetration characteristics

Na rysunku 2 pokazano natomiast obliczone parametry precyzji dla tego testu. Z rysunku 2 wynika, że precyzja pomiarów parametrów z testu CPTU q_c , f_s , u_c jest wysoka. Dla kontrastu, precyzję oceny parametrów testu CPTU w jednorodnym ośrodku, jaki stanowi il Onsoy, pokazano na rysunkach 3, 4, 5 [14, 20]. Testy wykonane zostały przez kilku operatorów, z zastosowaniem penetrometrów ośmiu renomowanych firm. Wyniki te pokazały, jak istotny jest wpływ wariancji zapisanej w równaniu 5 na parametry testów CPTU.

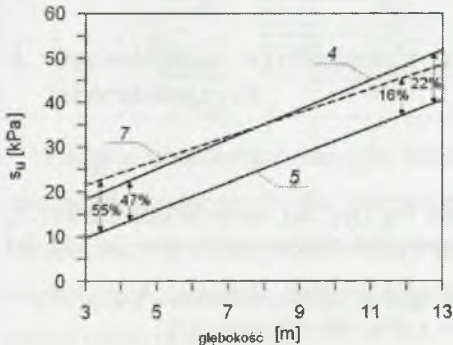


Rys. 3. Funkcje regresji dla zależności pomiędzy oporem stożka i głębokością
 Fig. 3 Regression functions for cone resistance vs. depth



Rys. 4. Funkcje regresji dla zależności pomiędzy tarcieniem na tulei czarnej i głębokością
 Fig. 4. Regression functions for sleeve friction vs. depth

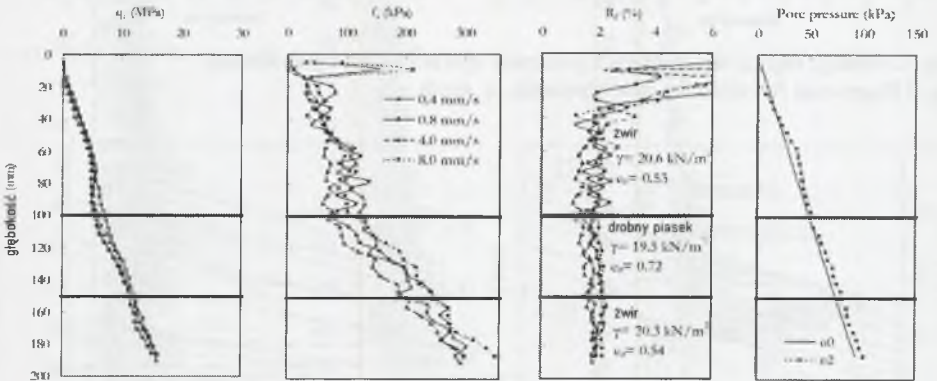
Do analizy trendu zmiany parametrów testu CPTU q_c , f_s , u_c z głębokością (rys. 2,3,4) przyjęto model liniowy. Analiza istotności różnic pomiędzy współczynnikami trendu wykazała, że tylko parametry trendu dla ciśnienia wody w porach statystycznie nie różnią się istotnie. Parametry trendu dla pozostałych zmiennych q_c , f_s różnią się istotnie na poziomie istotności $\alpha=0,05$ [3]. Porównanie przeprowadzono w parach penetrometrów. Na rysunku 5



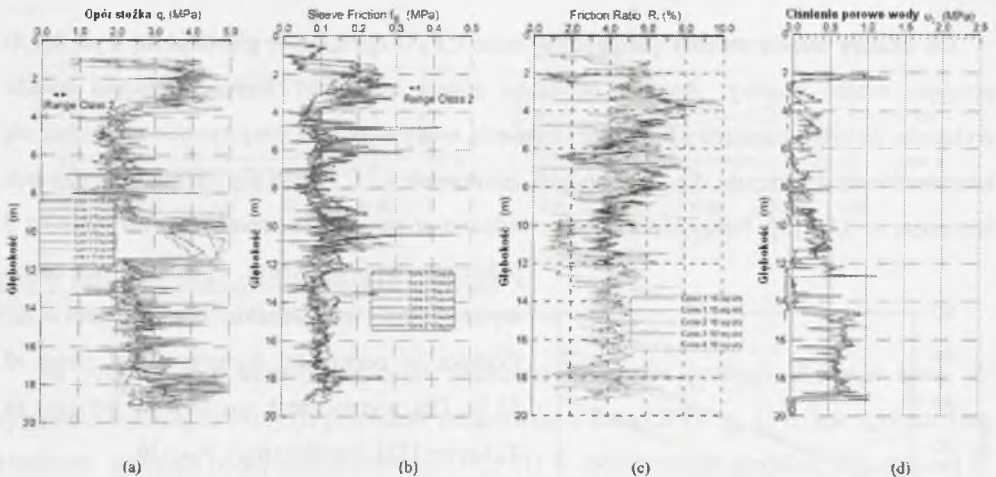
pokazano wpływ efektu operatora na ocenę wytrzymałości na ścinanie bez drenażu - S_u . Różnica w ocenie tej wytrzymałości sięga aż 55%. Dla wyznaczenia wartości S_u przyjęto za T. Lunne [12] współczynnik $N_{kt}=10$.

Rys. 5. Ocena wytrzymałości na ścinanie bez drenażu - S_u iłu z Onsoy za pomocą różnych penetrometrów [12]
 Fig. 5. Prediction of undrained shear strength of Onsoy clay by different penetrometers [12]

Przykłady wpływu prędkości penetracji na parametry testu CPTU w badaniach modelowych pokazano na rysunku 6 [17], podczas gdy na rysunku 7 przedstawiono wpływ geometrii stożka na parametry testu CPTU [15]. W badaniu tym autorzy zastosowali stożki o powierzchni podstawy 10 cm² i 15 cm², a sondowania przeprowadzone zostały w zróżnicowanych warunkach geotechnicznych, a mianowicie, w warstwach różnie prekonsolidowanego łu, charakteryzującego się zróżnicowanym stanem konsystencji.



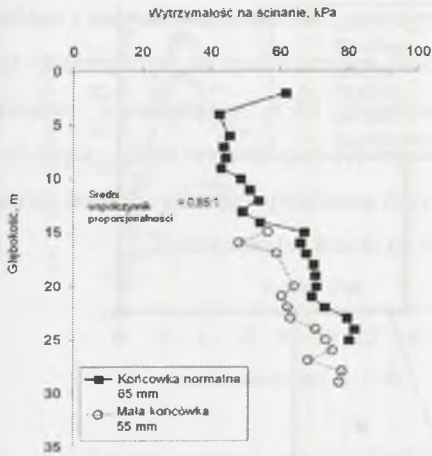
Rys. 6. Wpływ prędkości penetracji na q_c , R_f , f_s [17]
Fig. 6. Influence of rate penetration on q_c , R_f , f_s [17]



Rys. 7. Miejsce badań – Cowden; zmiana: oporu stożka - q_c (rys. 7a), tarcia na tulei czarnej - f_s (rys. 7b), współczynnika tarcia - R_f (rys. 7c) i nadwyżek ciśnienia porowego - u_c (rys. 7a) z głębokością [15]

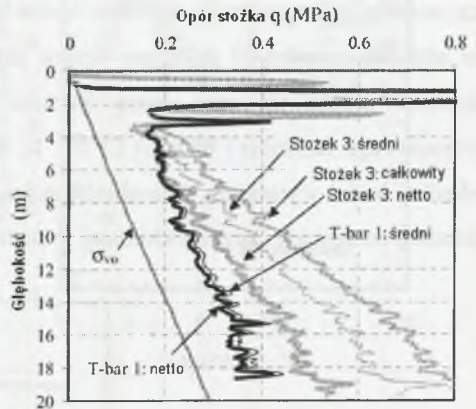
Fig. 7. Place of investigation – Cowden: cone resistance – q_c (Fig. 7a), sleeve friction – f_s (Fig. 7b), friction ratio – R_f (Fig. 7c), pore water pressures – u_c (Fig. 7d) with depth [15]

Na rysunku 8 udokumentowano wpływ geometrii krzyżaka sondy obrotowej na ocenę wytrzymałości na ścinanie bez drenażu. Bardzo dobrym przykładem wpływu geometrii końcówki tego urządzenia jest ocena wytrzymałości na ścinanie bez drenażu łu, jeśli zastosuje się w tej technice badania inne końcówki, np. T-bar [4].



Rys.8. Przykład wyników ścinania łu z wykorzystaniem różnych sond obrotowych [1]

Fig. 8. Example of results from parallel tests with normal and small vanes in clay [1]



Rys. 9. Wpływ geometrii końcówki na rejestrowane wartości oporu stożka i końcówki T-bar [4]

Fig. 9. Undrained shear strength profiles derived from the field penetration test [4]

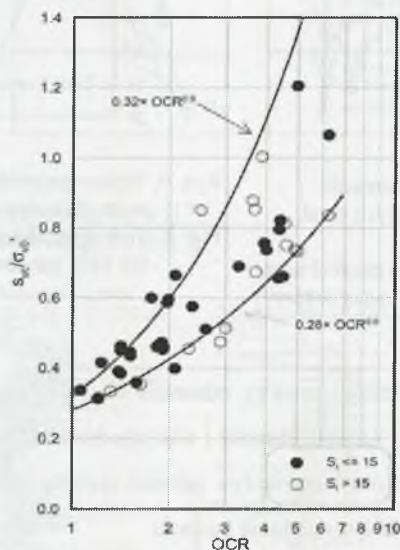
W podsumowaniu tej części analizy odnośnie do wpływu mierzonych parametrów w testach CPTU, FVT i DMT, na adekwatność i wiarygodność zależności empirycznych można stwierdzić, że najbardziej istotny jest wpływ jakości sprzętu i efekt operatora. Efekt ten jest ściśle związany ze starannością wykonania badania.

4. Ograniczenia wynikające z jakości próbek przeznaczonych do badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne stanowią ważne ogniwo w przygotowaniu danych do budowania zależności korelacyjnych. Na wiarygodność wyników tych badań, oprócz zastosowanego sprzętu, ma w wysokim stopniu wpływ jakość próbki dostarczonej do laboratorium. Problem ten był i jest niezwykle ważnym zagadnieniem badawczym. Trzy kwestie w tym temacie należy uznać za zasadnicze:

- wpływ zmian w makrostrukturze próbki, utraty naturalnej cementacji po pobraniu próbki z podłoża i rekonsolidacji w laboratorium na parametry ścinania,
- wpływ techniki pobrania próbki na jej jakość,
- ustalenie kryteriów dla oceny jakości próbki.

Poniżej przedstawia się przykłady i komentarz odnośnie do wpływu wyżej wymienionych czynników na interpretację wyników badań laboratoryjnych i zależności korelacyjne z testów in situ. Na rysunku 10 pokazano wpływ anizotropowej rekonsolidacji na wytrzymałość na ścinanie próbki iltu oraz ocenę wartości współczynnika OCR na podstawie badania trójosiowego ściskania i badania CPTU. K. Karslud i inni [7] na podstawie analizy wyników obydwu badań wyjaśniają, że rozbieżności w ocenie tych parametrów są spowodowane utratą lokalnej cementacji i przeobrażeniami w strukturze iltu na skutek rekonsolidacji.

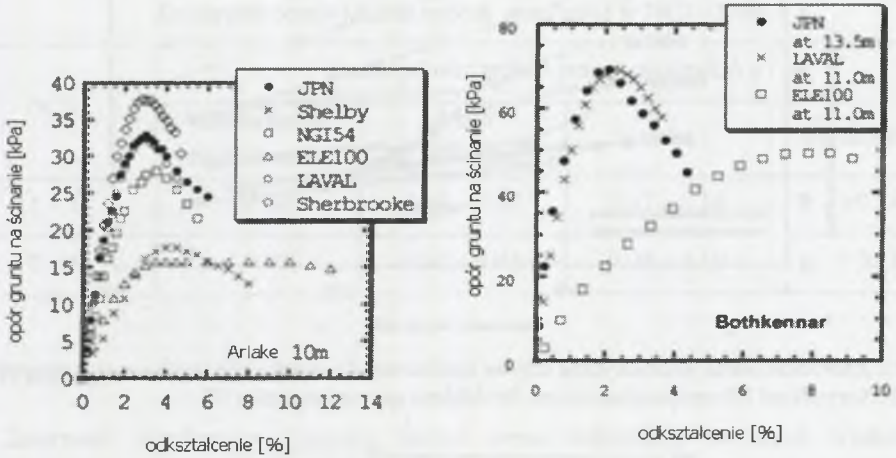


Rys. 10. Zależność pomiędzy znormalizowaną wytrzymałością na ścinanie i współczynnikiem OCR dla próbki blokowej [7]

Fig. 10. Normalized CAUC strength values s_u/σ'_{v0} , for block samples in relation to OCR [7]

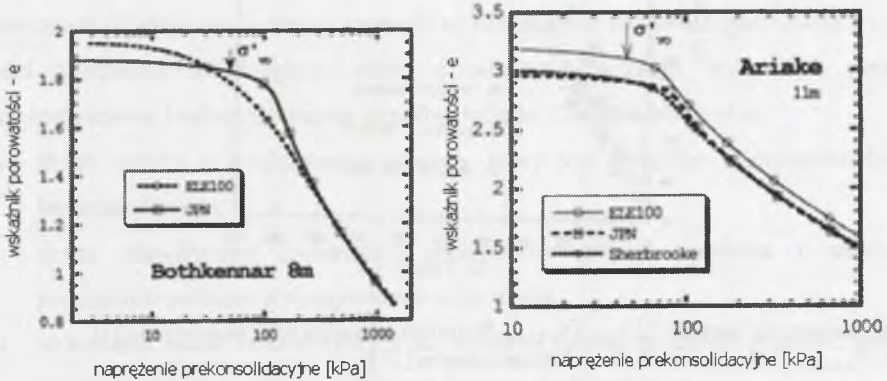
Ocena jakości próbki jest zwykle przeprowadzana przez porównanie oporu wciskania próbnika (q_n), modułu odkształcenia (E), odkształcenia przy zniszczeniu podczas badania jednoosiowego ściskania (ϵ_1), wartości naprężenia prekonsolidacyjnego (p_c) lub współczynnika ściśliwości (C_c). Najczęściej stosowanymi metodami oceny jakości próbek są dwie metody – pomiar ciśnienia ssania oraz na podstawie prędkości fali ścinającej [5, 18, 19].

Rysunek 11 dokumentuje kryterium oceny jakości próbek, pozyskanych różnymi próbnikami, w wyniku porównania oporu wciskania próbnika, natomiast rysunek 12 pokazuje ocenę jakości za pomocą kryterium naprężenia prekonsolidacyjnego.



Rys. 11. Test porównawczy jakości próbnika w miejscu Ariake i Bothkennar [18]

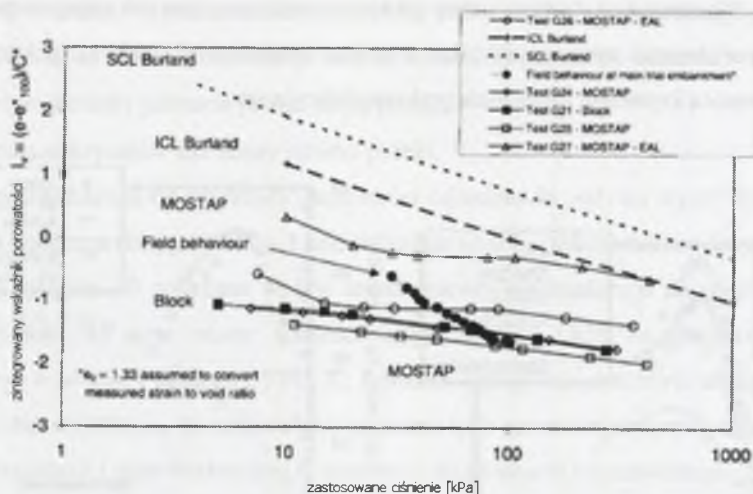
Fig. 11. Comparison of sample quality at the site of Ariake and Bothkennar [18]



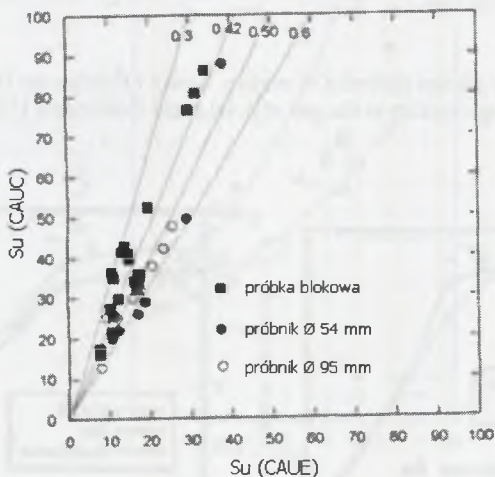
Rys. 12. Zależność pomiędzy e a $\log p_c$ określonymi w teście CRS dla łu Ariake i Bothkennar [18]

Fig. 12. e - $\log p$ relation measured by CRS test for Ariake and Bothkennar clay [18]

Ocenę jakości próbek za pomocą współczynnika ściśliwości (rys. 12) prezentują wyniki badań M. Longa [9]. Wpływ na ocenę wytrzymałości na ścinanie bez drenażu łu z badania CAKE w zależności od sposobu pozyskania próbki do badania pokazano na rysunku 14 [11].



Rys. 13. Znormalizowane, edometryczne krzywe ściśliwości dla szarej gliny organicznej Athlone [9]
 Fig. 13. Normalized 1D compression curves for Athlone grey organic clay [9]



Rys. 14. Porównanie wartości $S_{u, CAUC}$ i $S_{u, CAUE}$ dla próbek rdzeniowych i blokowych [11]
 Fig. 14. $S_{u, CAUC}$ vs $S_{u, CAUE}$ for block and piston samples [11]

Bardzo dobre podsumowanie odnośnie do wpływu jakości próbki na ocenę parametrów geotechnicznych oraz hierarchię parametrów służących ocenie jakości próbek podał T. Lunne [10, 11, 13]. Z analizy tej wynika, że jakość próbki ma największy wpływ na wskaźnik porowatości i wytrzymałość na ścinanie bez drenażu. Za bardzo istotne należy uznać ustalenie kryterium, które definiuje jakość próbki. W tabeli 1 podano kryterium stosowane w NGI –

Oslo, które opracowano na podstawie obszernej liczby badań typu CAU i CRSC na próbkach blokowych i pozyskanych próbnikiem rdzeniowym o średnicy 54 mm. Analizę przeprowadzono dla ilów z Norwegii i Anglii [11, 12].

Tabela 1

Kryterium oceny jakości próbek stosowane w NGI – Oslo

OCR	Ocena jakości próbki przez wskaźnik $\Delta e / e_0$			
	bardzo dobra do doskonałej	dobra do przeciętnej	słaba	bardzo słaba
1 – 2	<0.04	0.04 – 0.07	0.07 – 0.14	>0.14
2 – 4	< 0.03	0.03 – 0.05	0.05 – 0.10	> 0.10

5. Wnioski

Zależności korelacyjne stanowią bardzo cenną informację na temat właściwości geotechnicznych gruntów podłoża. Są one także jednym z ważnych elementów służących rozwiązaniu wielu problemów geotechnicznych. Przedstawione w niniejszym artykule przykłady pokazują, że jeśli do konstruowania zależności korelacyjnych wykorzystuje się pomiary z badań in situ, to należy mieć świadomość, że zależności te mają liczne ograniczenia. Wydaje się, że cztery czynniki są szczególnie ważne w konstruowaniu i ocenie jakości zależności korelacyjnej, która z sukcesem pozwoli wyznaczyć parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów podłoża. Czynniki te są:

- dobra wiedza o mechanizmie procesu, który jest związany z przeprowadzonymi badaniami in situ,
- ocena statystycznej zmienności parametrów gruntów podłoża i mierzonych parametrów podczas wykonywanego testu in situ,
- wykonanie badań laboratoryjnych na wysokiej jakości próbkach gruntów, ponieważ wyniki tych badań stanowią punkt odniesienia dla badań in situ,
- stosowanie sprzętu wysokiej jakości, dla którego znane są wartości, opisujące precyzję w ujęciu statystycznym, mierzonych podczas badania parametrów.

Literatura

1. Ahnberg H., Larsson R., Berglund C.: Influence of van size and equipment of the results of field vane tests. Proc. of the 2-nd International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Porto 2004, 273-277.
2. Banach S.: Mechanika, Monografie matematyczne. SWO Czytelnik, Kraków 1950, t. 1.
3. Benjamin J.R., Cornell C.A.: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977.
4. Chang S.F., Randolph M.F.: Penetration resistance in soft clay for different shaped penetrometers, Proc. of the 2-nd International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Porto 2004, 671-677.
5. DeGroot D.J., Lutenegeger A.J.: Characterization by sample and in-situ testing Connecticut Valley varved clay. *Studia Geotechnica et Mechanica*. Wrocław 2005, no. 3, 107-120.
6. Durgunoglu H.T., Mitchell J.K.: Static penetration resistance of soils. *Geotechnical Engineering* 1973, University of California, Berkeley, no. 24, t. 14.
7. Karlsrud K., Lunne T., Kort D.A., Strandvik S.: CPTU correlations for clays. Proc. of the XVI-th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Osaka 2005, 693-702.
8. Lee I.K.: *Soil Mechanics - New Horizons*. Newnes-Butterworths, Chap. 3 Lumb P. Application of Statistics in Soil Mechanics, London 1974, 44-111.
9. Long M.: The quality of continuous soil samples. *Geotechnical Testing Journal*, 2002, vol. 25, no. 3, 1-20.
10. Lunne T.: Interpretation of CPT in compressible sands. International Workshop: Soil Characterization and Related Topics. NGI, Oslo 2007.
11. Lunne T., Berre T., Andersen K.H., Strandvik S., Sjørusen M.: Effects of sample disturbance and consolidation procedures on measured shear strength of soft marine Norwegian clays. *Canadian Geotechnical Journal* 2005, no. 43, 726-750.
12. Lunne T., Long M., Forsberg C.F.: Characterization and engineering properties of Onsoy clay. Characterization and engineering properties of natural soils, Balkema, Rotterdam 2003, 395-428.
13. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.: Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic Professional, London 1997.

14. Młynarek Z.: Influence of quality of in-situ tests on evaluation of geotechnical parameters of subsoil. Proc. of the XIII-th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague 2003, vol. 3, 565-570.
15. Powell J.J.M., Lunne T.: Comparison of different sized piezocones in UK clays. Proc. of the XVI-th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka 2005, 729-734.
16. Quality of CPTU. Norwegian Geotechnical Institute Oslo and Department of Geotechnics Agricultural University Poznań 2002 (praca nieopublikowana).
17. Silva M.F., Bolton M.D.: Centrifuge penetration tests in saturated layered sand. Proc. of the 2-nd International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Porto 2004, 377-384.
18. Tanaka H.: Sample quality of cohesive soils: lesson from three sites Ariake. Bothkennar and Drammen, Soils and Foundations, 2000, no. 40, z. 4, 57-74.
19. Tanaka H., Nishida K.: Suction and shear wave velocity measurements for assessment of sample quality. Proc. of the 3-rd International Workshop: In-situ Tests and Sample Disturbance of Clays, Baranowo 2006.
20. Tschuschke W.: Sondowania statyczne w osadach poflotacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo, z. 110, Gliwice 2006.
21. Vesic A. S.: Design of pile foundations. National Cooperative Highway Research Program. Report No. 42, Transportation Research Board, Washington 1977.

Recenzent: Dr hab. inż. Adam Bolt, prof. Pol. Gdańskiej