

# IDENTYFIKACJA KONSYSTENCJI GRUNTÓW MAŁO SPOISTYCH NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYK PENETRACJI Z BADANIA STATYCZNEGO SONADOWANIA

Wojciech TSCHUSCHKE\*

Katedra Geotechniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 61-649 Poznań

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono procedurę identyfikacji stanu konsystencji gruntów mało spoistych na podstawie parametrów penetracji z badania sondowania statycznego. Wskazano na czynniki, których pominięcie w analizie prowadzić może do błędnej interpretacji wyników badania. Zaproponowano postać związku empirycznego umożliwiającego oszacowanie stopnia plastyczności gruntów mało spoistych na podstawie znormalizowanego oporu stożka, przez uwzględnienie czynników zewnętrznych. Wiarygodność związku korelacyjnego zweryfikowano na podstawie wyników badań laboratoryjnych.

*Słowa kluczowe:* grunty mało spoiste, stan konsystencji, parametry CPTU.

## 1. Wprowadzenie

Identyfikacja rodzaju gruntu pod względem uziarnienia zazwyczaj prowadzi do wyboru miarodajnej cechy wskaźnikowej służącej charakterystyce gruntów z uwagi na ich stan. W przypadku gruntów niespoistych identyfikatorem stanu jest najczęściej stopień zagęszczenia, podczas gdy dla gruntów spoistych powszechnie stosuje się stopień plastyczności (Wiłun, 2000). Sytuacja niejednoznacznej oceny właściwej cechy wskaźnikowej pojawia się w tak zwanych gruntach przejściowych – gruntach o uziarnieniu z pogranicza spoistych i niespoistych. Do grupy tej doskonale wpisują się grunty potocznie określane w opisie makroskopowym jako zaglinione piaski, czy silnie spiaszczone pyły. Charakterystyczną cechą tych gruntów jest to, że z jednej strony wykazują cechy spoistości, z drugiej zaś – są na tyle mało spoiste, że często nie kwalifikują się do próby waleczkowania. Bardzo niska wartość wskaźnika plastyczności sprawia, że niewielka nawet zmiana wilgotności gruntu jest przyczyną dużych niepewności oszacowania stopnia plastyczności w standardowej procedurze oceny tego parametru.

W tej sytuacji *quasi*-ciągłe badanie *in situ*, w którym rejestruje się zmiany oporów stożka może być z powodzeniem wykorzystane do określenia stanu konsystencji gruntów spoistych (Tschuschke i Wierzbicki, 1998). Warunkiem miarodajnej oceny stopnia plastyczności na podstawie oporu stożka, szczególnie

w przypadku gruntów mało spoistych, jest uwzględnienie kilku czynników związanych z uziarnieniem i pochodzeniem gruntu, stanem naprężenia oraz warunkami drenażu. Do oceny tych czynników wykorzystać można pozostałe parametry penetracji badania CPTU.

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie takiego związku korelacyjnego.

## 2. Podejście tradycyjne

Dokumentacja standardowych badań geotechnicznych, bazujących na wynikach analizy makroskopowej i badań laboratoryjnych próbek gruntów pobranych z otworów badawczych, obejmuje w zakresie ustalenia stanu gruntów spoistych, jakościową lub ilościową ocenę stopnia plastyczności. Formalnie, w celu ustalenia wartości tego parametru, wystarczy odnieść wilgotność naturalną gruntu do granic konsystencji, zgodnie z równaniem:

$$I_L = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w_n - w_p}{I_p} \quad (1)$$

gdzie:  $w_n$  jest wilgotnością naturalną gruntu,  $w_L$  i  $w_p$  są granicami konsystencji – odpowiednio granicą płynności i granicą plastyczności, a  $I_p$  jest wskaźnikiem plastyczności.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: wtsch@up.poznan.pl

W przypadku gruntów, charakteryzujących się bardzo niską wartością wskaźnika plastyczności, kłopotliwa może okazać się procedura oznaczenia granicy plastyczności na podstawie próby waleczkowania. Zdarza się bowiem, że w celu niedopuszczenia do zniszczenia waleczka przed osiągnięciem wymaganej normy średnicy, próbę waleczkowania kończy się przedwcześnie, co prowadzi do oznaczenia granicy plastyczności o wartości większej niż rzeczywista. Skutkiem takiego postępowania jest zazwyczaj niedoszacowanie wartości wskaźnika i stopnia plastyczności.

Wysokie niepewności pomiarowe związane z wyznaczeniem granicy plastyczności mogą być wyeliminowane wówczas, gdy standardowe oznaczenia granic Atterberga zastąpi się badaniem stożkiem opadowym (PN-EN 1997-2:2007 *Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*). Wynikiem takiego badania jest określenie wskaźnika konsystencji – parametru, który zastępuje granice konsystencji w ocenie stopnia plastyczności:

$$I_{LN} = A \frac{w_n}{I_c} - B \quad (2)$$

gdzie:  $w_n$  jest wilgotnością naturalną gruntu,  $I_c$  jest wskaźnikiem konsystencji gruntu,  $A$  oraz  $B$  są współczynnikami empirycznymi zależnymi od wskaźnika konsystencji (PN-88/B-04481 *Grunty Budowlane. Badania próbek gruntów*).

Porównanie wyników obydwu metod wskazuje, że w silnie spiaszczonych gruntach mało spoistych badanie stożkiem opadowym przeszacowuje ocenę stopnia plastyczności w odniesieniu do tradycyjnej metody bazującej na granicach konsystencji i odwrotnie – niedoszacowuje ocenę stanu konsystencji w przypadku gruntów o uziarnieniu zdominowanym przez frakcję pyłową.

Doraźne, znacznie mniej precyzyjne oszacowanie stopnia plastyczności można uzyskać na podstawie badania penetrometrem tłoczkowym. W badaniu tym, parametrem na podstawie którego dokonuje się oceny stopnia plastyczności jest opór wciskania końcówki penetrometrem w próbkę gruntu.

$$I_L = 0,038q_f^2 - 0,312q_f + 0,666 \quad (3)$$

gdzie  $q_f$  jest oporem wciskania końcówki trzpienia penetrometru. Instrukcja obsługi penetrometru (1974) nie zaleca jednak stosowania tej metody do badania gruntów o zawartości frakcji ilowej poniżej 10%.

Najbardziej zgrubną z omawianych, metodą umożliwiającą określenie stanu konsystencji gruntów spoistych jest metoda bazująca na próbie waleczkowania, stosowana powszechnie w ramach analizy makroskopowej. Podstawą, wyłącznie jakościowej w tym przypadku, oceny stanu konsystencji gruntu jest określenie liczby cykli kulka – waleczek w próbie waleczkowania, do momentu gdy po osiągnięciu przez waleczek średnicy 3 mm ulega on zniszczeniu. O szczególnie niskiej skuteczności tej metody świadczyć

może fakt, że w przypadku gruntów mało spoistych pomyłka w wynikach próby o jeden tylko cykl waleczkowania zmienia jakościowo kwalifikację, przesuwając wynik oceny do innego stanu.

W podsumowaniu omówionych powyżej, powszechnie znanych i stosowanych w praktyce, prostych metod oceny stanu konsystencji gruntów spoistych należałoby stwierdzić, że zwłaszcza w przypadku gruntów mało spoistych żadna z tych metod nie gwarantuje wiarygodnej oceny stopnia plastyczności. Z uwagi na liczne ograniczenia odnoszące się do gruntów charakteryzujących się niską wartością wskaźnika plastyczności jako preferencyjną należałoby wskazać metodę stożka opadowego, która wykorzystuje do określenia wartości stopnia plastyczności gruntu parametr pośredni, a mianowicie wskaźnik konsystencji.

### 3. Podejście niekonwencjonalne

W praktyce inżynierskiej powszechnie wykorzystuje się procedury umożliwiające ocenę stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych na podstawie oporu stożka (Sikora, 2006; Tschuschke, 2006; Mayne, 2007). Stosunkowo łatwo można wykazać, że uzasadnionym jest również poszukiwanie zależności korelacyjnej pomiędzy oporem statycznie wciskanego w podłoże stożka, a stanem konsystencji gruntu spoistego (Liszkowski i in., 2004). Jeżeli bowiem z jednej strony, odnieść się do wytrzymałościowej definicji wskaźnika konsystencji, na podstawie którego szacuje się wartość stopnia plastyczności (2), z drugiej zaś strony przytoczyć liczne przykłady związków korelacyjnych pomiędzy wytrzymałością na ścinanie bez odpływu a oporem stożka, to w sposób oczywisty poszukiwać można bezpośredniej zależności pomiędzy oporem stożka i stopniem plastyczności. Różnica w ocenie stopnia plastyczności i wytrzymałości na ścinanie bez odpływu na podstawie oporu stożka, wynika z warunków badania. W pierwszym przypadku badanie jest wykonywane dla pozbawionej struktury pasty gruntowej, natomiast w przypadku drugim – gruntu w złożu o naturalnej makrostrukturze, w określonych warunkach drenażu i rzeczywistym stanie naprężenia. Zdefiniowanie i uwzględnienie w analizie czynników różnicujących te badania ma na celu podniesienie wiarygodności poszukiwanego związku.

W standardowym badaniu sondowania statycznego (CPTU) rejestrowane są w sposób *quasi*-ciągły, z przyrostem głębokości sondowania trzy charakterystyki penetracji: opór stożka –  $q_c$ , tarcie na tulei ciernej –  $f_s$  i nadwyżka ciśnienia wody w porach –  $u_c$  (rys. 1). Rejestrowane parametry testu są parametrami obciążonymi i wymagają zazwyczaj normalizacji i standaryzacji.

Geometria piezostożka powoduje, że ciśnienie wody w porach wpływa na rejestrowaną wartość oporu stożka. W celu wyeliminowania tego wpływu, opór stożka normalizuje się zgodnie z formułą zapisaną równaniem:

$$q_t = q_c + (1 - a)u_c \quad (4)$$

gdzie:  $q_t$  jest znormalizowanym oporem stożka,  $q_c$  jest wartością oporu stożka zarejestrowaną podczas badania, a jest współczynnikiem powierzchni stożka netto, natomiast  $u_c$  jest zarejestrowanym w badaniu ciśnieniem wody w porach.

Istotność normalizacji tego parametru sondowania ma tym większe znaczenie im niższe są mierzone wartości oporów stożka oraz im wyższe są nadwyżki ciśnienia wody w porach. Zazwyczaj normalizacja oporu stożka ze względu na wpływ nadwyżki ciśnienia wody w porach może być pominięta w gruntach niespoistych.

Zmianę stanu naprężenia w podłożu wynikającą ze zmieniającej się głębokości sondowania, uwzględnia się normalizując opór stożka przez składową pionową naprężenia geostatycznego:

$$q_n = q_t - \sigma_{vo} \quad (5)$$

gdzie:  $q_n$  jest oporem stożka netto, a  $\sigma_{vo}$  jest składową pionową naprężenia geostatycznego.

Wynik łącznej normalizacji (4) i (5) w przypadku rejestracji negatywnych wartości ciśnienia wody w porach prowadzić może do znacznej niekiedy redukcji wartości oporów stożka, podczas gdy rejestrowane wysokie nadwyżki ciśnienia wody w porach powodują wzajemne znoszenie się efektów normalizacji.

Istotnym elementem procedury oceny stanu konsystencji gruntu na podstawie parametrów testu CPTU jest identyfikacja rodzaju gruntów budujących analizowane podłoże. Najczęściej wykorzystywanym w systemach klasyfikacyjnych metody sondowania statycznego identyfikatorem jest współczynnik tarcia:

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \cdot 100\% \quad (6)$$

gdzie:  $f_s$  jest rejestrowaną wartością tarcia na tulei ciernej, a  $q_c$  jest znormalizowanym oporem stożka (4).

Większość systemów klasyfikacyjnych identyfikuje jako grunty niespoiste takie, dla których współczynniki tarcia nie przekraczają zazwyczaj wartości 1,5%. Natomiast grunty spoiste charakteryzują współczynniki tarcia zdecydowanie większe od jedności. W dużym uproszczeniu takie są założenia teoretyczne, w praktyce obserwuje się jednak, że grunty mało spoiste często wykraczają poza ramy kryteriów klasyfikacyjnych (Mayne, 2007). Doskonałym przykładem obrazującym niestandardowe, w kontekście przyjętych kryteriów klasyfikacyjnych, wyniki badania sondowania statycznego jest profil geotechniczny zilustrowany na rysunku 2. Analiza rozkładu współczynnika tarcia z głębokością wskazuje jednoznacznie, że w prezentowanym przykładzie poniżej głębokości 10 m ( $0,4 < R_f < 1,1$ ) należałoby zidentyfikować w podłożu strefę zalegania gruntów niespoistych, podczas gdy wyniki kontrolnych badań laboratoryjnych dokumentują występowanie głównie piasków gliniastych. Pomocnym w podobnym przypadku, pod warunkiem wykonania sondowania techniką CPTU, jest drugi parametr testu, tak zwany parametr ciśnienia porowego (7), umożliwiający weryfikację wyników analizy wstępnej:

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{vo}} = \frac{\Delta u}{q_n} \quad (7)$$

gdzie:  $u_2$  jest ciśnieniem wody w porach rejestrowanym przez filtr umieszczony bezpośrednio za ostrzem stożka,  $u_0$  jest ciśnieniem wody w porach *in situ* w poziomie penetracji stożka przed badaniem,  $q_t$  jest znormalizowaną wartością oporu stożka (4),  $\sigma_{vo}$  jest składową pionową naprężenia geostatycznego,  $\Delta u$  jest nadwyżką ciśnienia wody w porach, a  $q_n$  jest oporem stożka netto (5).

W gruntach niespoistych, które charakteryzują warunki pełnego drenażu, nie rejestruje się nadwyżki ciśnienia wody w porach podczas penetracji stożka, a mierzone w badaniu ciśnienia wody odpowiadają ciśnieniu hydrostatycznemu ( $u_2 \gg u_0$ ). W gruntach mało spoistych warunki częściowego drenażu prowadzą do rejestracji różnych od hydrostatycznych wartości ciśnienia wody w porach, które wyrażone parametrem ciśnienia porowego umożliwiają określenie kryterium identyfikującego te grunty:  $B_q < 0$  lub  $B_q > 0,1$  (Mayne, 2007). Uwzględniając powyższe kryteria w analizowanym wcześniej przykładzie (rys. 2) weryfikuje się wyniki wstępnej analizy do oceny zgodnej z oceną dokonaną na podstawie badań laboratoryjnych. Weryfikacja taka możliwa jest jednak wyłączenie wówczas, gdy badanie sondowania statycznego wykonane jest techniką CPTU. Badanie CPT bez pomiaru ciśnienia wody w porach nie gwarantuje wiarygodnej identyfikacji rodzaju i stanu gruntów w podłożu. Przydatnym wskaźnikiem jakościowej oceny stanu konsystencji gruntów spoistych może być również wartość zarejestrowanego w badaniu ciśnienia wody w porach odniesiona do ciśnienia hydrostatycznego ( $u_2 / u_0$ ).

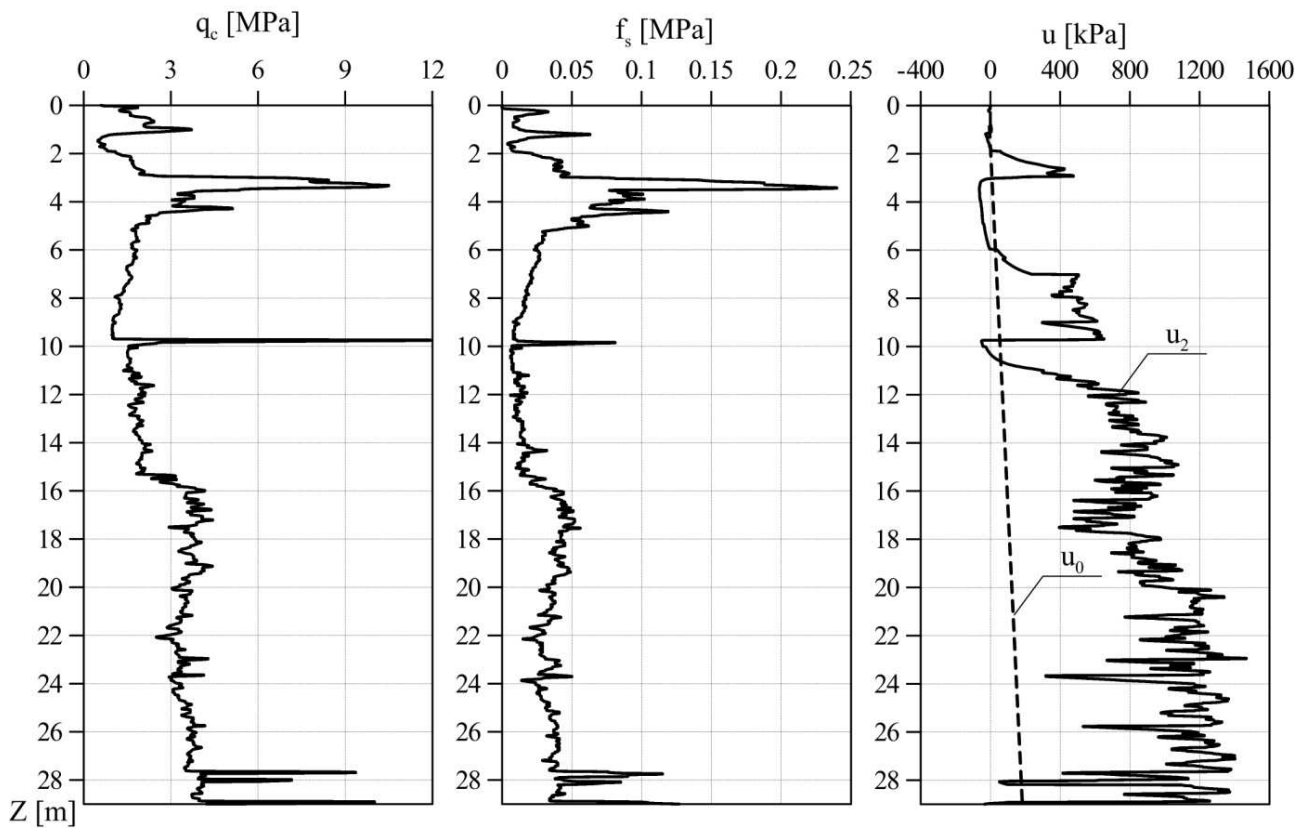
Literatura dotycząca problematyki wykorzystania wyników badania sondowania statycznego w celu określenia stopnia plastyczności gruntów spoistych podłoża nie jest bogata. W odróżnieniu bowiem od praktyki krajowej, parametr ten nie znalazł w innych krajach tak powszechnego zastosowania. Znane z literatury związki ograniczają się wyłącznie do zależności empirycznych, często o charakterze lokalnym. Zagadnienie regionalności w przypadku analizowanego związku ma istotne znaczenie na jego wiarygodność (Sikora, 2006).

Liszkowski i in. (2004) podają ogólną postać związku korelacyjnego pomiędzy stopniem plastyczności i oporem stożka, różnicując wartości współczynników regresji dla poszczególnych rodzajów i grup genetycznych gruntów spoistych:

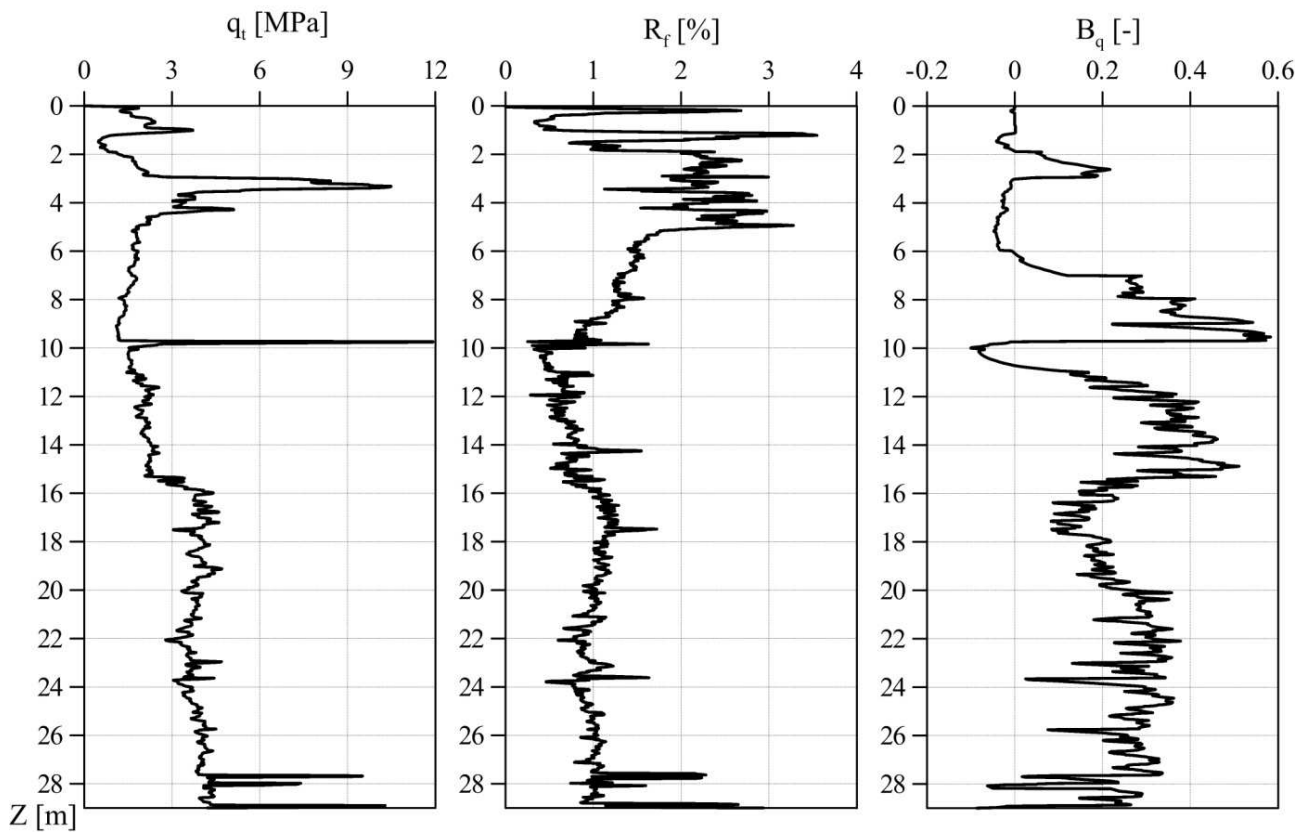
$$I_L = a - b \ln(q_n) \quad (8)$$

gdzie:  $a$  i  $b$  są współczynnikami regresji, a  $q_n$  jest oporem stożka netto (5).

Dla gruntów bardzo spoistych, charakteryzujących się średnią wartością współczynnika tarcia  $R_f = 5,83\%$ , bez uwzględnienia genezy tych gruntów, współczynniki regresji wynoszą:  $a = b = 0,235$ , natomiast różnicując tę grupę gruntów ze względu na pochodzenie,



Rys. 1. Standardowe parametry penetracji zarejestrowane w badaniu sondowania statycznego CPTU



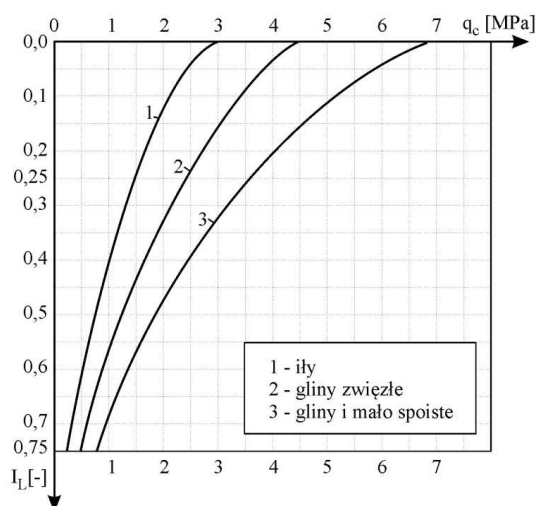
Rys. 2. Znormalizowane parametry penetracji dla badania CPTU

współczynniki regresji zmieniają się w zakresie:  $a = 0,230-0,265$  i  $b = 0,213-0,247$ . Dla grupy gruntów związła spoistych, wyróżniających się średnią wartością współczynnika  $R_f = 3,53\%$ , współczynniki regresji bez podziału na grupy genetyczne wynoszą:  $a = 0,304$  i  $b = 0,194$  oraz w przypadku uwzględnienia genezy tych gruntów ich wartości zmieniają się w zakresie  $a = 0,271-0,375$  i  $b = 0,147-0,254$ . Dla ostatniej z analizowanych grup, gruntów średnio spoistych ( $R_f = 2,65\%$ ) współczynniki regresji wynoszą odpowiednio:  $a = 0,416$  i  $b = 0,284$  oraz w przypadku uwzględnienia genezy tych gruntów  $a = 0,344-0,500$  i  $b = 0,238-0,333$ . Przedstawiona powyżej analiza nie uwzględnia grupy gruntów mało spoistych.

Wprowadzając do rozwiązania drugą zmienną, która może być również jednym z parametrów sondowania związanym z uziarnieniem, uzyskuje się bardziej ogólną postać związku, kosztem jednak utraty poziomu jego istotności (Tschuschke i Wierzbicki, 1998). Ograniczeniem do stosowania zależności wyrażonej równaniem (9) jest wymagana wartość współczynnika tarcia  $R_f > 2\%$ , co w zasadzie wyklucza z analizy grupę gruntów mało spoistych.

$$I_L = 1,34 \cdot q_n^{(-1,72)} \cdot R_f^{(-2,04)} \quad (9)$$

Starsze zależności korelacyjne cytowane w literaturze prezentowane są zazwyczaj w postaci diagramów interpretacyjnych. Przykład takiego diagramu przedstawia rysunek 3 (Wiłun, 2000). Wspólną cechą powyższych rozwiązań jest to, że stopień plastyczności gruntu określa się na podstawie oporu stożka wyznaczonego w badaniu stożkiem mechanicznym Begemanna, a więc w warunkach znacznie odbiegających od standardu badania testu CPTU.

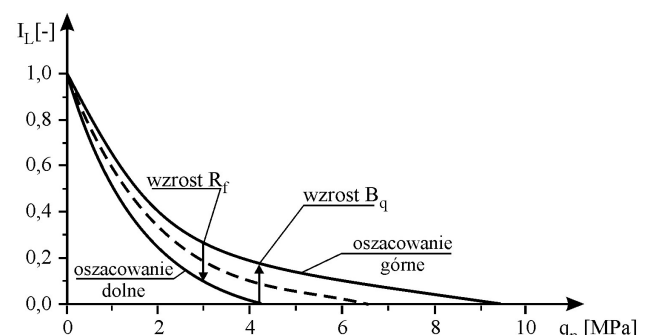


Rys. 3. Wykres zależności między oporem stożka i stopniem plastyczności (Wiłun, 2000)

#### 4. Wyniki badań

Wiele zrealizowanych na przestrzeni ostatnich lat w kraju inwestycji, w tym również drogowych, w istotny sposób

przyczyniło się do znacznej intensyfikacji badań geotechnicznych. Duża część tych badań wykonana była metodą sondowania statycznego przy współudziale kalibracyjnych badań laboratoryjnych. Powstała w ten sposób obszerna baza danych, która wykorzystana została do skonstruowania systemu interpretacyjnego oceny stanu konsystencji gruntów mało spoistych na podstawie parametrów penetracji z badania sondowania statycznego. Na powyższą bazę danych składało się ponad 650 wyników badań laboratoryjnych służących ocenie stopnia plastyczności oraz ponad 400 diagramów badania sondowania statycznego, z których do analizy statystycznej wyselekcjonowano 170 testów CPTU, zrealizowanych dla podłoża geotechnicznych, w obrębie których udokumentowano występowanie gruntów mało spoistych. Podjęta próba skonstruowania takiego związku podyktowana została faktem niskiej precyzji oceny stopnia plastyczności gruntów mało spoistych na podstawie związków korelacyjnych dostępnych w literaturze. Wyniki przeprowadzonej analizy wskazały zakres obszaru zmienności związku korelacyjnego dla grupy gruntów mało spoistych. Związek korelacyjny wyznacza zależność (8) pomiędzy stopniem plastyczności określonym na podstawie badania laboratoryjnego stożkiem opadowym i wartością oporu stożka netto, znormalizowanego o wpływ ciśnienia wody w porach zarejestrowanego w badaniu CPTU (rys. 4). Współczynniki regresji równania (8) dla wszystkich analizowanych wyników badań gruntów mało spoistych bez względu na ich pochodzenie wynoszą odpowiednio:  $a = 0,27$  i  $b = 0,55$ . Oszacowanie górne zależności, dla którego wartości współczynników regresji równania (8) wynoszą:  $a = 0,25$  i  $b = 0,60$ , odnosi się do gruntów prekonsolidowanych o uziarnieniu z pogranicza piasków gliniastych i piasków.

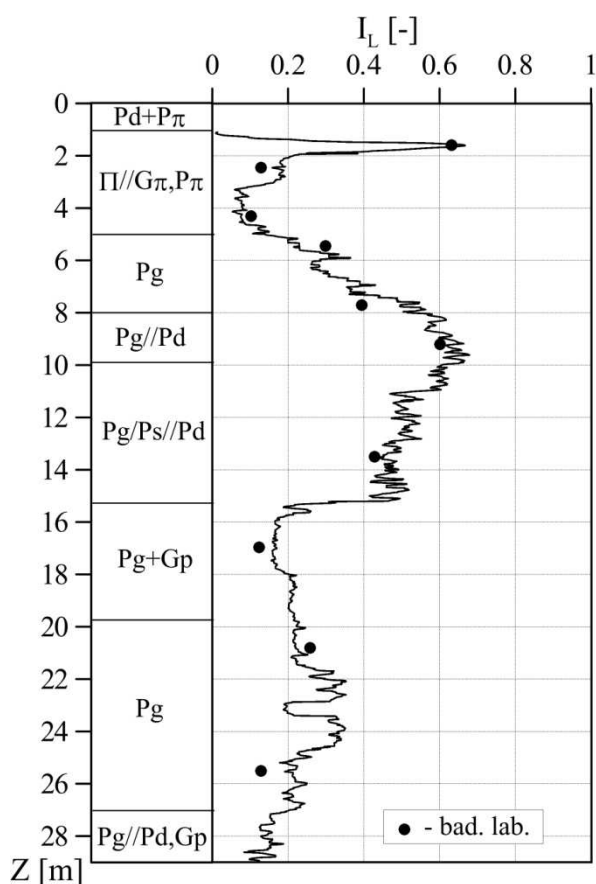


Rys. 4. Graficzna interpretacja związku korelacyjnego pomiędzy oporem stożka netto i stopniem plastyczności dla gruntów mało spoistych

Grunty tego rodzaju wyróżniają wartości współczynników tarcia  $R_f = 0,5-1,5\%$  oraz wysokie wartości parametru ciśnienia porowego  $B_q > 0,2$ . Grunty mało spoiste normalnie konsolidowane lub nieznacznie prekonsolidowane o uziarnieniu zdominowanym przez frakcję pyłową wyróżniają wyższe wartości współczynnika tarcia  $R_f = 2,5-3,0\%$  oraz wartości parametru ciśnienia porowego  $B_q \gg 0$  z możliwością rejestracji negatywnych wartości ciśnienia wody

w porach. Dla gruntów o zbliżonych wartościach parametrów penetracji właściwszym rozwiązaniem jest dolne oszacowane zależności, dla której wyznaczono wartości współczynników regresji na poziomie:  $a = 0,25$  i  $b = 0,44$ .

Wiarygodność związku korelacyjnego zweryfikowana została na analizowanych diagramach badania CPTU. W tym celu wyznaczono rozkłady stopnia plastyczności oszacowane na podstawie zależności korelacyjnej, a następnie porównano z odpowiednimi wartościami stopnia plastyczności określonymi z badań laboratoryjnych. Przykład analizy porównawczej odnoszącej się do wyników badania CPTU przedstawionych na rysunkach 1 i 2 prezentuje rysunek 5.



Rys. 5. Przykład analizy porównawczej oszacowania stopnia plastyczności gruntów na podstawie metody CPTU oraz z badań laboratoryjnych

## 5. Podsumowanie

Analiza wyników badań sondowań statycznych oraz wyników kalibracyjnych badań laboratoryjnych wykazała, że do oceny stopnia plastyczności gruntów mało spoiстых mogą być wykorzystane parametry sondowania statycznego. Zaproponowany związek empiryczny wyznaczono dla próby statystycznej o dużej liczebności, obejmującej grunty o zróżnicowanym pochodzeniu, uziarnieniu i stanie konsystencji. Ocena wiarygodności analizowanego związku wykazała, że ze względu na specyficzne właściwości gruntów mało spoiстых oraz

trudności metodyczne związane z oceną stanu konsystencji tych gruntów, niezbędna jest normalizacja i standaryzacja parametrów penetracji. Uwolnienie rejestrowanych parametrów sondowania od wpływu czynników zewnętrznych wymaga przeprowadzenia badania sondowania statycznego techniką CPTU z pomiarem ciśnienia wody w porach. Z wniosku tego wynika kolejny wniosek praktyczny, że badanie techniką CPT nie gwarantuje poprawności oceny rodzaju i stanu konsystencji gruntów, szczególnie z grupy gruntów mało spoiстых. Niewątpliwą zaletą oceny stopnia plastyczności na podstawie metody statycznego sondowania jest uzyskanie ciągłego rozkładu z głębokością wyników oszacowania analizowanej cechy oraz identyfikacja trendu zmian w podłożu stanu konsystencji, z ewentualnym wskazaniem lokalizacji i zasięgu stref gruntów charakteryzujących się uplastycznieniem wywołanym lokalnym kontaktem z wodą gruntową

## Literatura

- Instrukcja obsługi penetrometru wciskowego PW-1. (1974). Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Geologicznej. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa
- Liszowski J., Tschuschke M., Młynarek Z., Tschuschke W. (2004). Statistical evaluation of the dependence of the liquidity index and undrained shear strength of CPTU parameters in cohesive soils. W: *Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. A. V. Fonseca and P. W. Mayne (Eds.). Millpress, Rotterdam, Vol. 1, 979-985.
- Mayne P.W. (2007). Cone Penetration Testing. A Synthesis of Highway Practice. *Transportation Research Board*, NCHRP 368, Washington D.C.
- Sikora Z. (2006). Sondowania Statyczne. Metody i Zastosowanie w Geoinżynierii. *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*, Warszawa
- Tschuschke W. (2006). Sondowania Statyczne w Odpadach Poflotacyjnych. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Budownictwo* nr 110, Gliwice.
- Tschuschke W., Wierzbicki J. (1998). Zastosowanie techniki statycznego sondowania do oceny parametrów geotechnicznych podłoża. W: *Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce*. WIND, Wrocław. 107-114
- Wiłun Z. (2000). Zarys Geotechniki. *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*. Warszawa

## IDENTIFICATION OF THE STATE OF CONSISTENCY IN LOOSELY COHESIVE SOILS BASED ON PENETRATION CHARACTERISTICS FROM CONE PENETRATION TEST

**Abstract:** The paper presents a procedure for the identification of the state of consistency for loosely cohesive soils based on penetration parameters from cone penetration tests. Factors were indicated, which elimination from the analysis may lead to an erroneous interpretation of testing results. A form was proposed for an empirical relationship facilitating estimation of the liquidity index for loosely cohesive soils based on cone resistance normalized by incorporation of the effect of external factors. Reliability of the correlation relationship was verified based on laboratory testing results.