

*Paweł Jednacz**

INTERPRETACJA I PORÓWNANIE WYNIKÓW SONDOWAŃ CPTU ORAZ WYBRANYCH TESTÓW *IN SITU* W PYŁACH OKOLIC KRAKOWA W ODNIESIENIU DO BADAŃ LABORATORYJNYCH

1. Wprowadzenie

Badania geologiczno-inżynierskie utworów pylastych w Polsce mają bardzo długą historię, pierwsze wzmianki dotyczące badań lessów w okolicach Krakowa podał S. Zaręczny (1894), a następnie wielu innych badaczy podejmowało działania mające na celu rozpoznanie petrograficzne i stratygraficzne lessów [3].

Lessy w okolicach Krakowa tworzą zwartą pokrywę osadów starszych o zróżnicowanej miąższości, wahającej się od 1,0 do ponad 20,0 metrów. Takie zróżnicowanie jest rezultatem budowy morfologicznej podłoża przedczwartorzędowego, którego deniwelacje wahają się w zakresie od 190 do 450 m. Pokrywa utworów pylastych łagodzi zróżnicowaną rzeźbę podłoża [3].

Malowniczo wyglądające okolice Dolinek Podkrakowskich położone na zachód od Krakowa stały się w ostatnich latach terenami intensywnego rozwoju budownictwa jednorodzinne. Powstają tu budynki przeważnie budowane w technologii tradycyjnej, posadowione bezpośrednio na podłożu gruntowym. Fundament stanowią na ogół ławy fundamentowe, a przeważająca większość domów jest niepodpiwniczona.

Zalegające w tym rejonie pyły w powierzchniowej warstwie terenu, tj. od około 1,4 do 2,0 m nie zawierają węgla wapnia CaCO_3 , który został wypłukany przez wody powierzchniowe, a grunty występują tu najczęściej w stanie twaroplastycznym. Zalegające niżej pyły wykazują wyraźnie zawartość węgla wapnia CaCO_3 , posiadają mniejszą wilgotność naturalną będąc w stanie półzwartym, a więc typowe cechy dla lessów.

Omówiony przypadek dotyczy terenów o głębokim położeniu zwierciadła wód gruntowych oraz o prawidłowym odprowadzeniu wód opadowych.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Zmiany przepisów dotyczące wydawania pozwolenia na budowę spowodowały korzystną sytuację dla zwiększenia bezpieczeństwa posadowienia obiektów budowlanych. Poczynając od 1998 roku wymagane jest ustalenie geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych [4]. Jednak należy tutaj zauważyć, że badania rozpoznawcze zazwyczaj mają zakres ograniczony do analizy makroskopowej i ewentualnie podstawowych sondowań, dających możliwość określenia podstawowych parametrów wytrzymałościowych i stanu gruntu. Aspekt cenowy ma tutaj decydujące znaczenie, gdyż inwestor indywidualny przy rosnących ciągle kosztach robocizny i materiałów budowlanych dąży do zmniejszenia wydatków.

W takiej sytuacji geotechnicy nie zlecają przeprowadzenia drogich badań laboratoryjnych i specjalistycznych sondowań, a częstokroć takowe są bardzo przydatne w prawidłowej ocenie podłoża gruntowego.

Również sytuacja ekonomiczna wymusiła odstępianie od przewymiarowywania konstrukcji w celu ograniczenia kosztów budowy, co wiąże się ze zmniejszeniem zapasu bezpieczeństwa konstrukcji. Jednakże szczególnie w przypadku gruntów pylastych bardzo wrażliwych na zmiany wilgotności [5] istnieje potrzeba rozszerzania zakresu badań geotechnicznych.

W przypadkach budowy dużych inwestycji ten problem jest znikomy, gdyż wykonywane są potrzebne testy, badania i analizy laboratoryjne.

W trakcie swoich prac autor spotkał się często z występowaniem awarii w obiektach budowlanych na gruntach pylastych, spowodowanych nieodpowiednim rozpoznaniem podłoża gruntowego i nieprawidłową eksploatacją obiektu. Dominujące znaczenie ma jednak wpływ zmian wilgotności gruntu na zmniejszenie się jego parametrów wytrzymałościowych. Powstające rysy i spękania często są lekceważone przez właścicieli, a tylko nieliczni podejmują kroki naprawcze, hamujące niekorzystne procesy.

Grunty pylaste są zaliczane do gruntów wysadzinowych i należy przyznać, że warunek związany z minimalną głębokością posadowienia ze względu na zasięg strefy przemarzania jest w Polsce przestrzegany. Gorzej jest z obiektami budowanymi w systemie gospodarczym: pośpiech i ograniczenie nakładów oraz częstokroć brak wiedzy wykonawców powodują narażenie obiektu na późniejsze awarie. Efekty takich praktyk są widoczne, zarówno po kilku latach, jak i po dłuższym okresie, kiedy to wskazanie bezpośrednio winnych zaniedbaniom jest praktycznie niemożliwe.

W przypadku większości gruntów istnieje wiele interpretacji dających możliwość określenia bezpośrednio z badań polowych, bądź parametrów wiodących takich jak stopień plastyczności I_L i zagęszczenia I_D lub obliczenia pośrednio, innych parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Problematyka związana z zachowywaniem się gruntów pylastych ma swojej miejsce w literaturze fachowej z zakresu geotechniki.

Artykuł stanowi początek pracy badawczej mającej w przyszłości dać odpowiedź na pytanie, czy metodyka badań geotechnicznych, uproszczona do najtańszych testów i sondowań, daje mało wiarygodne wyniki, które są zbyt ubogą informacją dla pełnego określenia parametrów gruntów pylastych i trafnego prognozowania współpracy obiektu z podłożem o charakterze pylastym.

2. Badania i analizy

Jednym z uznanych na świecie testów polowych, cieszącym się dużym zaufaniem geotechników, jest sondowanie statyczne CPTU. Autor wykonał 10 sondowań dających bardzo podobne wyniki, co świadczy o jednorodności ośrodka gruntowego i jego przydatności jako pola doświadczalnego.

Mimo wielu trudności związanych z interpretacją zmian ciśnienia porowego u_2 test ten znalazł uznanie oraz jest wykorzystywany obecnie jako jedna z normowych metod badania podłoża gruntowego. Badania dotyczące składu ziarnowego potwierdziły bez wątpienia, że mamy do czynienia z gruntami ewidentnie pylastymi, zaś metoda areometryczna wykazała dobrą zgodność z badaniami wykonanymi w aparacie laserowym Analysette-22 firmy Fritsh (Niemcy) (tab. 1).

TABELA 1
Zestawienie rozkładu poszczególnych frakcji uziarnienia

| Nr testu | Głębokość pobrania | Badania w aparacie laserowym | | |
|--|--------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|
| | | frakcja ilowa, % | frakcja pyłowa, % | frakcja piaskowa, % |
| 305 | 1,6 m | 8,43 | 74,90 | 16,67 |
| 307 | 1,6m | 8,47 | 75,42 | 16,11 |
| 309 | 1,6 m | 8,38 | 74,49 | 17,13 |
| średnia dla całości | | 8,45 | 75,16 | 16,39 |
| 301 | 1,8 m | 7,79 | 76,54 | 15,67 |
| 303 | 1,8 m | 7,73 | 76,38 | 15,89 |
| 304 | 1,8 m | 7,85 | 76,16 | 15,99 |
| średnia dla całości | | 7,79 | 76,36 | 15,85 |
| Analiza areometryczna wg PN-88/B-04481 | | | | |
| 1 | 1,6 m | 8,00 | 79,50 | 12,50 |
| 2 | 1,8 m | 5 | 76,5 | 18,5 |

Materiał do badań został pobrany z typowej działki budowlanej, znajdującej się na lokalnym wyniesieniu, położonej 15 km na zachód od Krakowa w Gminie Zabierzów.

Analiza makroskopowa odwiertów wykonanych z użyciem ręcznego zestawu wiertniczego, o głębokości 4,5 m, wskazywała, że pod warstwą humusu zalegają utwory pylaste o jednorodnej strukturze, o tej samej jasnobrązowej barwie, bez zauważalnych zmian uziar-

nienia. Można było jedynie określić głębokość, od której grunt wykazywał mniejszą wilgotność, co zostało potwierdzone w badaniach laboratoryjnych (tab. 2).

TABELA 2

Wyniki badań wilgotności naturalnej w , granicy plastyczności w_p , granicy płynności w_L , wskaźnika plastyczności I_p i stopnia plastyczności I_L

| Głębokość zalegania, m | Granica plastyczności w_p , % | Wilgotność naturalna w % | Granica płynności w_L , % | Wskaźnik plastyczności I_p | Stopień plastyczności I_L | Stan gruntu |
|------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 0,45÷0,55 | 22,58 | 24,58 | 35,4 | 12,82 | 0,16 | tpl |
| 0,95÷1,05 | 21,63 | 22,01 | 29,75 | 8,12 | 0,05 | tpl |
| 1,45÷1,55 | 20,12 | 21,7 | 30,3 | 10,18 | 0,16 | tpl |
| 1,95÷2,05 | 18,57 | 16,68 | 27,7 | 9,13 | -0,21 | pzw |
| 2,45÷2,55 | 17,64 | 16,6 | 26,2 | 8,56 | -0,12 | pzw |
| 2,95÷3,05 | 17,71 | 15,56 | 26,3 | 8,59 | -0,25 | pzw |
| 3,45÷3,55 | 17,64 | 16,42 | 26,2 | 8,56 | -0,14 | pzw |
| 3,95÷4,05 | 18,03 | 16,64 | 26,8 | 8,77 | -0,16 | pzw |

Wykonano również test sondą krzyżakową FVT w celu określenia wytrzymałości gruntu na ścinanie, zgodnie z PN-B-04452 (tab. 3).

TABELA 3

Analiza testu FVT

| Głębokość zalegania, m | Rodzaj skrzydełek 200 mm / 80 mm | I_L za PN-B-04452 | τ_{max} , kPa | τ_{min} , kPa | I_R wskaźnik wrażliwości strukturalnej | Uwagi |
|------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--|-------------|
| 0,45÷0,55 | 80 | > 0,50 | 45 | 6 | 7,5 | wrażliwy |
| 0,95÷1,05 | 200 | > 0,50 | 33 | 14 | 2,4 | niewrażliwy |
| 1,45÷1,55 | 200 | > 0,50 | 33 | 19 | 1,7 | niewrażliwy |
| 1,95÷2,05 | 200 | 0,25 < ... < 0,50 | 66 | 16 | 4,1 | wrażliwy |
| 2,45÷2,55 | 200 | 0,25 < ... < 0,50 | 72 | 20 | 3,6 | niewrażliwy |
| 2,95÷3,05 | 200 | 0,25 < ... < 0,50 | 71 | 22 | 3,2 | niewrażliwy |
| 3,45÷3,55 | 200 | 0,25 < ... < 0,50 | 70,5 | 22 | 3,2 | niewrażliwy |
| 3,95÷4,05 | 200 | 0,25 < ... < 0,50 | 62 | 18 | 3,4 | niewrażliwy |

Porównując wyniki I_L otrzymane na podstawie badań laboratoryjnych i obliczone z interpretacji normowej widzimy wyraźnie rozbieżność tych rezultatów, co nasuwa wątpliwości dotyczące bezkrytycznego stosowania ogólnych zależności. Zdaniem autora w uzasadnionych przypadkach należy podejmować próby wykorzystywania doświadczeń lokalnych i budować zależności o znacznie lepszej korelacji, zawiązując jednocześnie ich stosowalność w odniesieniu do gruntów pochodzących z terenów o tej samej historii procesów geologicznych.

Kolumna trzecia tabeli 3 zawiera przedziały, w których określa się stopień plastyczności I_L za PN-B-04452; ogólna zgodność zmian stanu gruntu wraz ze wzrostem głębokości jest zachowana, bo widoczne jest przejście ze stanu miękkoplastycznego w stan plastyczny, jest to jednak bardzo duża różnica w wartościach stopnia plastyczności I_L (tab. 2 kol. 6). Większe rozbieżności można zauważyć, odczytując wyniki sondowania statycznego CPTU.

Na kilku zamieszczonych w artykule wykresach z sondowań CPTU widać (rys. 1 na wklejce), że na głębokości 1,75 m występuje wzrost oporu na stożku. Od tej głębokości stwierdzono wyraźne burzenie 20% roztworu kwasu solnego, potwierdzające obecność węgla wapnia CaCO_3 , a także obniżenie wartości wilgotności naturalnej i zmianę stanu gruntu na półzwarty, co przedstawia tabela 2.

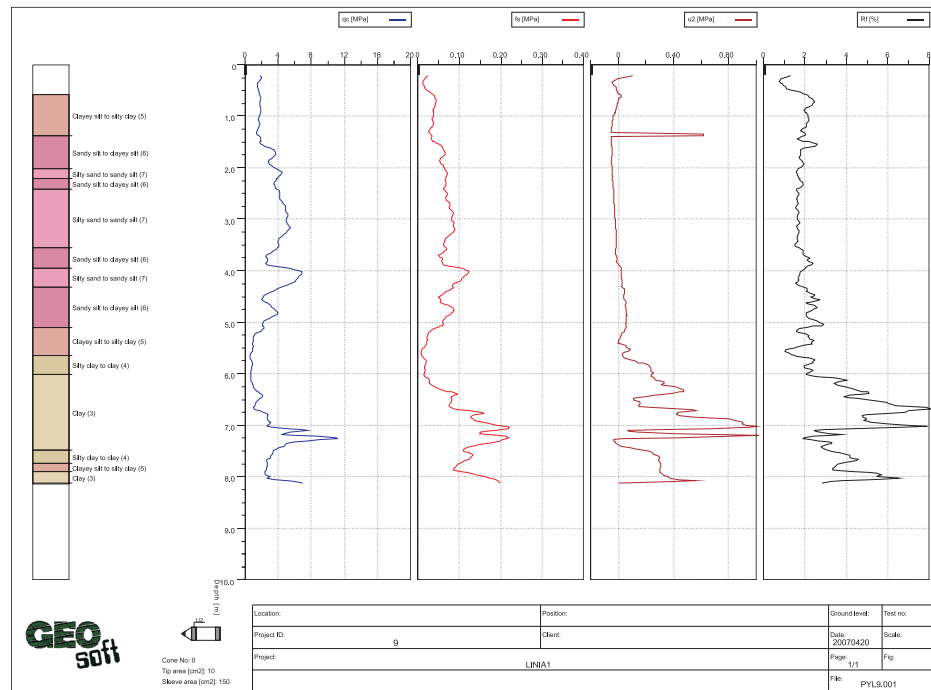
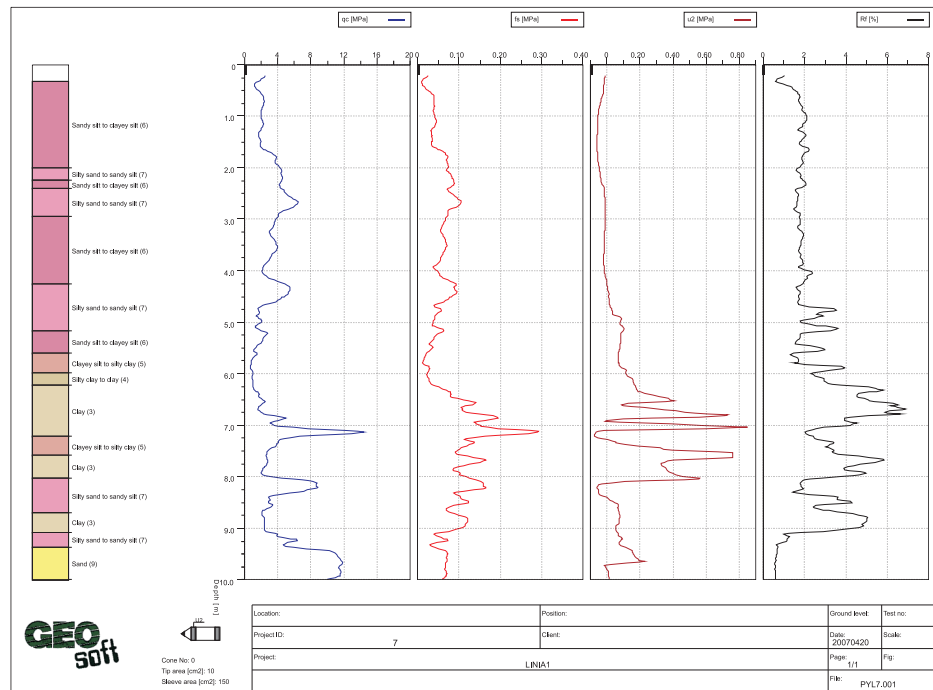
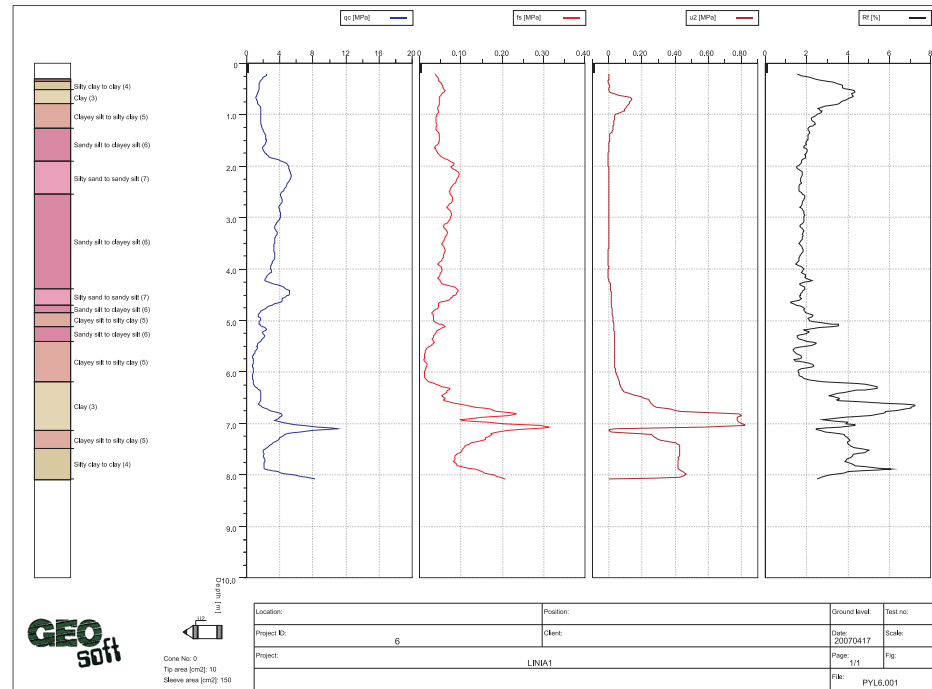
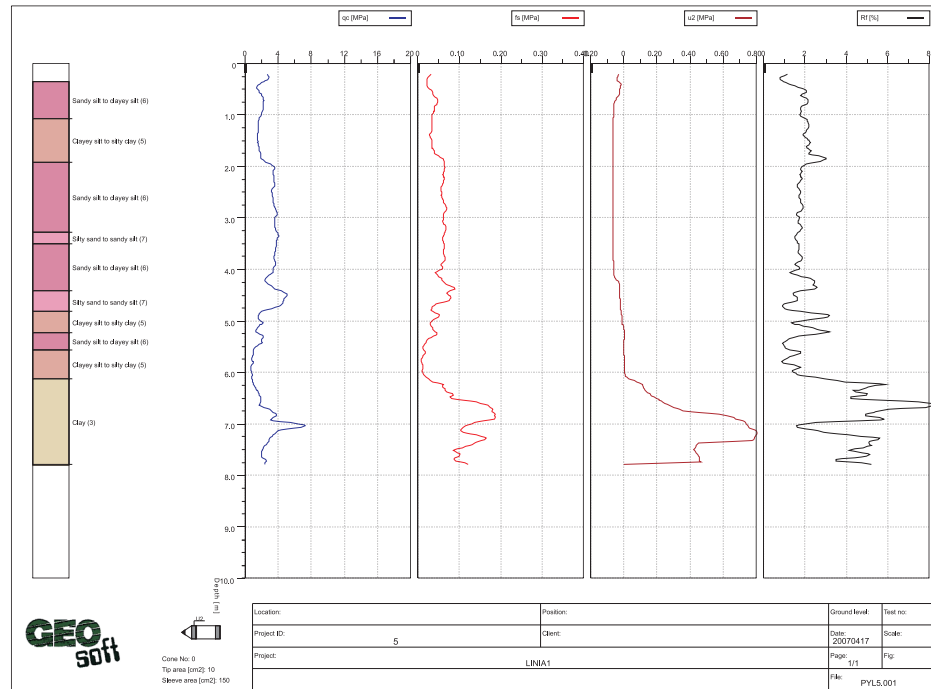
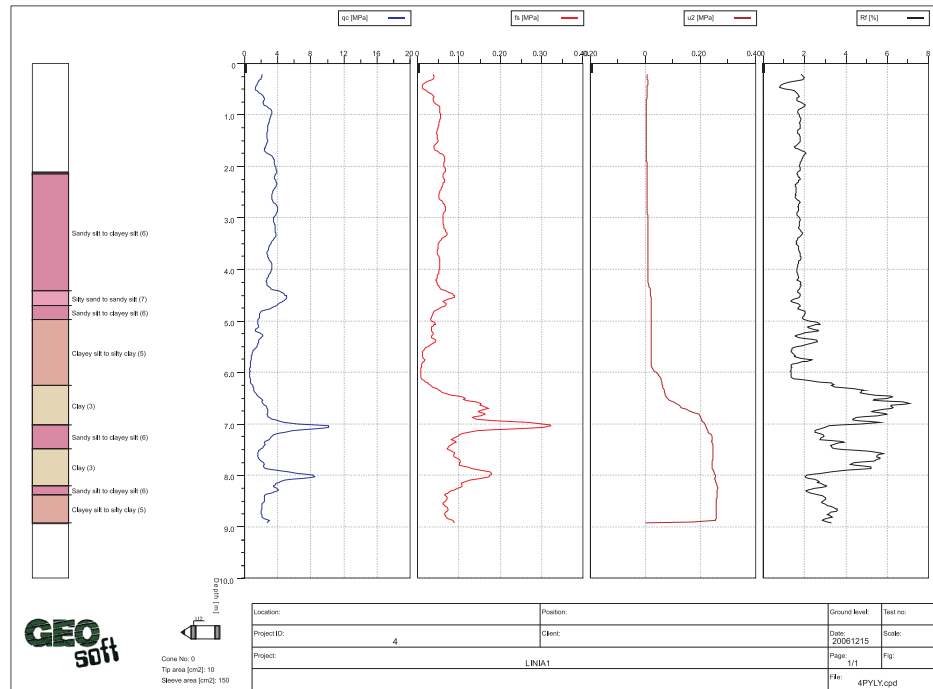
3. Podsumowanie wyników

W tabeli 4 zamieszczono zestawienie wartości stopnia plastyczności I_L określonego na podstawie różnych interpretacji przedstawionych w normie PN-B-04452:2002 i na podstawie badań laboratoryjnych.

TABELA 4

Zestawienie wartości stopnia plastyczności I_L określonego na podstawie różnych metod

| Głębokość, m | Szacowanie I_L na podstawie testu CPTU (PN-B-04452:2002) | | | I_L na podstawie testu FVT (PN-B-04452:2002) | Badania laboratoryjne |
|-----------------|---|---------------------|--------------|--|--------------------------|
| | $f_i < 10\%$ | $f_i = 10\sim 30\%$ | $f_i > 30\%$ | | |
| 0,5 | 0,64 | 0,44 | 0,19 | >0,5 | 0,16 |
| 1,0 | 0,36 | 0,19 | 0,03 | >0,5 | 0,05 |
| 1,5 | 0,41 | 0,23 | 0,05 | >0,5 | 0,16 |
| 2,0 | 0,31 | 0,15 | 0,00 | 0,25 < ... < 0,5 | -0,21 |
| 2,5 | 0,35 | 0,18 | 0,02 | 0,25 < ... < 0,5 | -0,12 |
| 3,0 | 0,32 | 0,15 | 0,00 | 0,25 < ... < 0,5 | -0,25 |
| 3,5 | 0,29 | 0,13 | -0,01 | 0,25 < ... < 0,5 | -0,14 |
| 4,0 | 0,35 | 0,18 | 0,02 | 0,25 < ... < 0,5 | -0,16 |



Rys. 1. Wykresy wyników sondowań wraz z klasyfikacją gruntów (Robertson 1986) [2]

Porównanie tych rezultatów i interpretacji pozwala wnioskować, iż obecnie mimo prawidłowego zaklasyfikowania pyłów na podstawie sondowań CPTU brakuje algorytmów do obliczenia stopnia plastyczności przy odpowiednio dobrej korelacji z wynikami określonymi na podstawie metod laboratoryjnych.

Prawidłowe określenie parametrów geotechnicznych utworów pylastych, jakie niewątpliwie reprezentują lessy, stanowi interesujący i ważny problem interpretacyjny i należy kontynuować prace badawcze, aby był on rozwiązany. Trzeba zaznaczyć, że grunty pylaste ze względu na skład ziarnowy znajdują się na pograniczu pyłów piaszczystych i glin pylastych, jednak można zauważyć pewne ograniczenia związane z możliwością wyznaczenia stopnia plastyczności I_L na podstawie zależności podanych w normach. Autorzy normy świadomie umieścili w przypadku lessów adnotacje o braku danych dla identyfikacji wartości τ_{fu} gruntów polskich [1].

LITERATURA

- [1] PN-B-04452:2002: Geotechnika. Badania polowe
- [2] Lunne T., Robertson P.K, Powell J.J.M.: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Londyn, Blackie Academic & Professional 1997
- [3] Kolasa M.: Geotechniczne własności lessów okolicy Krakowa, Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1963
- [4] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych, Dz.U. z dnia 8 października 1998 r., Warszawa, 1998
- [5] Wilun Z.: Zarys geotechniki. Warszawa, WKŁ (wyd. 4) 2000