

Łukasz ZAWADZKI, Mariusz LECH

Katedra Geoinżynierii, SGGW
Department of Geotechnical Engineering, WULS – SGGW

Interpretacja wyników rozpraszania ciśnienia wody w porach gruntu z badań CPTU pod kątem określania właściwości hydraulicznych podłoża gruntowego

Interpretation of CPTU dissipation test results to determine soil hydraulic properties

Słowa kluczowe: przepuszczalność hydrauliczna, współczynnik filtracji, współczynnik konsolidacji, CPTU, badania terenowe

Key words: hydraulic conductivity, permeability, coefficient of consolidation, CPTU, field testing

Wprowadzenie

Sondowania statyczne stanowią obecnie jedno z najczęściej wykonywanych badań in situ stosowanych do rozpoznawania właściwości podłoża gruntowego. Badania CPTU umożliwiają uzyskanie wielu charakterystyk gruntowych, w tym właściwości hydraulicznych (współczynnik filtracji i współczynnik konsolidacji). Dokonywane jest to poprzez wykonanie testu rozpraszania wzbudzonej nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu, polegającego na zatrzymaniu sondowania na żądanej głębokości i rejestracji zmian ciśnienia wody w porach gruntu w czasie.

Ze względu na ciągły rozwój cywilizacyjny, a co za tym idzie inwestycji inżynierskich w środowisko wodno-gruntowe znajomość właściwości hydraulicznych podłoża nabiera coraz większego znaczenia. Rozpoznanie przepuszczalności hydraulicznej gruntów pozwala m.in. na symulowanie przebiegu osiadań związanych ze zjawiskiem konsolidacji czy określenie kierunku i prędkości transferu zanieczyszczeń w podłożu gruntowym.

Określenie parametrów filtracyjnych podłoża gruntowego na podstawie sondowań CPTU wiąże się nie tylko z wykonaniem samego pomiaru, ale także z interpretacją uzyskanych wyników. W literaturze można spotkać wiele podejść obliczeniowych umożliwiających wyznaczenie parametrów przepływu na podstawie badań CPTU, jednak

stosowanie różnych podejść często nie pozwala jednoznacznie oszacować wartości badanego parametru.

Parametry przepływu z badań CPTU

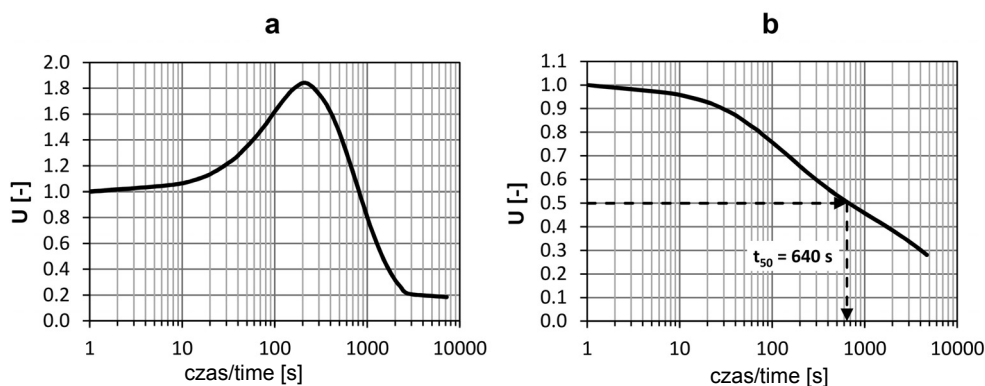
Parametry przepływu na podstawie badań CPTU można uzyskać w sposób pośredni z wykorzystaniem teorii konsolidacji poprzez pomiar rozpraszania się w czasie nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu powstałej podczas wciskania sondy. Wyniki badania przedstawiane są zazwyczaj w postaci zależności u - $\log(t)$, U - $\log(t)$ bądź u - \sqrt{t} , gdzie t jest to czas, u jest to wartość pomierzonego ciśnienia, U jest to znormalizowane ciśnienie wody w porach gruntu obliczone wg wzoru:

$$U = \frac{u_t - u_0}{u_i - u_0} \quad (1)$$

gdzie:

- u_t – wartość ciśnienia w czasie (t),
- u_0 – ciśnienie hydrostatyczne,
- u_i – początkowa wartość ciśnienia w $t = 0$.

W praktyce można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje przebiegu krzywych rozpraszania wzbudzonej nadwyżki ciśnienia (rys. 1). Rozpraszanie monotoniczne (standardowe), które charakteryzuje się spadkiem wartości wzbudzonego ciśnienia w czasie aż do momentu osiągnięcia wartości ciśnienia hydrostatycznego. Tego rodzaju przebieg krzywej dyssypacji występuje najczęściej w gruntach normalnie skonsolidowanych ($OCR = 1$) i słabo prekonsolidowanych ($OCR > 1$). Drugim charakterystycznym rodzajem przebiegu testu dyssypacji jest krzywa dylatancyjna (niestandardowa) występująca w gruntach silnie prekonsolidowanych ($OCR \gg 1$), gdzie w początkowej fazie badania odnotowuje się wzrost wartości ciśnienia do osiągnięcia pewnego maksimum, po czym następuje spadek wartości ciśnienia w czasie do momentu osiągnięcia ciśnienia hydrostatycznego podobnie jak w rozpraszaniu monotonicznym.



RYSunEK 1. Znormalizowane wyniki testu rozpraszania: a – na głębokości 5,86 m, b – na głębokości 9,24 m

FIGURE 1. Normalized dissipation test results: a – depth 5.86 m, b – depth 9.24 m

Przegląd metod stosowanych do określania parametrów hydraulicznych na podstawie wyników rozpraszania nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu z badań CPTU

W literaturze można spotkać wiele podejść interpretacyjnych zarówno nomogramów, jak i zależności empirycznych, które umożliwiają wyznaczenie współczynnika konsolidacji oraz współczynnika filtracji na podstawie testu dyssypacji. Jednak większość przedstawianych metod interpretacji może być zaimplementowana jedynie do wyników testu rozpraszania o przebiegu monotonicznym (tab. 1). Jako główny parametr do obliczeń przyjmowany jest najczęściej czas połowicznego rozproszenia powstałej nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu – t_{50} .

Współczynnik filtracji (k) i współczynnik konsolidacji (c_h) są od siebie

zależne i mogą być wyznaczone z równania (Mayne 2001, Robertson i Cabal 2012):

$$c_h = \frac{k \cdot M}{\gamma_w} \quad (2)$$

gdzie:

M – moduł ściśliwości [kPa],

γ_w – ciężar objętościowy wody [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$].

Większy problem sprawia interpretacja wyników rozpraszania o przebiegu dylatacyjnym, gdyż obecnie nie ma dobrej i łatwej metody interpretacji krzywych o przebiegu niestandardowym (Chai i in. 2012).

Sully i inni (1999) zaproponowali dwie proste metody korekty krzywych rozpraszania niestandardowego, w taki sposób aby można było wykorzystać do określenia parametrów przepływu te same zależności jak w przypadku krzywych standardowych. Pierwsza z metod polega na odcięciu części krzywej

TABELA 1. Wzory do określania parametrów przepływu na podstawie testu rozpraszania
TABLE 1. Formulas for determining the flow parameters from dissipation test

Wzór/Formuła	Jednostki/Units	Źródło/ Source
$k \approx \frac{1}{(251 \cdot t_{50})^{1,25}} \quad (3)$	k [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]; t_{50} [s]	Mayne (2001) za Parez i Fauriel
$c_h = \frac{T_{50} \cdot r_0^2}{t_{50}} \quad (4)$	c_h [$\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$]; t_{50} [s] $T_{50} = 1,2$ [-] (dla u_2) $r_0 = 1,78$ [cm] (dla u_2)	Lunne i in. (1997) za Torstensson
$c_h = \frac{T^* \cdot r_0^2 \cdot \sqrt{I_R}}{t_{50}} \quad (5)$	c_h [$\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$]; t_{50} [s] I_R [-] $r_0 = 1,78$ [cm] (dla u_2) $T^* = 0,245$ [-] (dla u_2)	Chai i in. (2012) za Teh i Houlsby
$c_h = (1,67 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{1-\log t_{50}} \quad (6)$	c_h [$\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$]; t_{50} [s]	Robertson (2010)
T_{50} – Czynn timer czasu/Time factor. r_0 – Promień sondy/Probe radius. T^* – Zmodyfikowany czynn timer czasu/Modified time factor. I_R – Wskaźnik sztywności gruntu/Rigidity index.		

i przesunięciu czasu rozpoczęcia rozpraszania do punktu, gdzie ciśnienie osiąga wartość maksymalną (rys. 2a). Druga metoda polega na wykreśleniu krzywej rozpraszania w zależności od pierwiastka kwadratowego z czasu i wstecznej ekstrapolacji ciśnienia początkowego poprzez wyrównanie linią prostą części wykresu reprezentującego rozpraszanie monotoniczne (rys. 2b). Metody zaproponowane przez Sully'ego i innych (1999) są proste do zastosowania, ale nie uwzględniają w pełni mechanizmu powodującego powstanie krzywych dylatancyjnych (Chai i in. 2012).

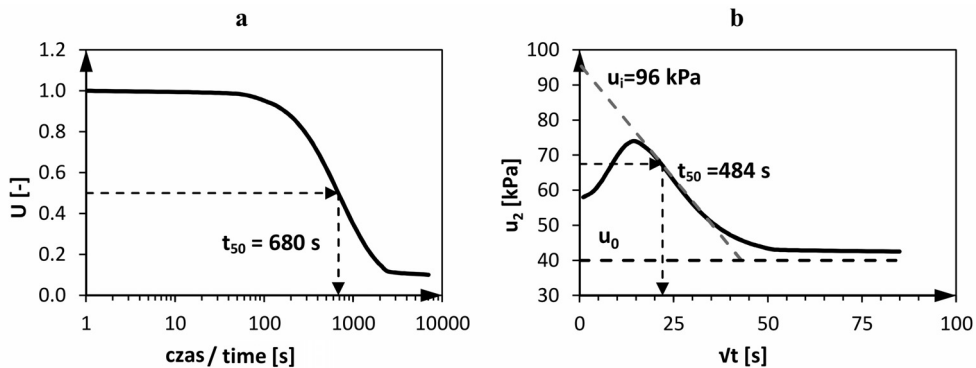
$$t_{50m} = \frac{t_{50}}{1 + 18,5 \cdot \left(\frac{t_{u_{max}}}{t_{50}}\right)^{0,67} \cdot \left(\frac{I_R}{200}\right)^{0,3}}$$

gdzie:

t_{50} – czas połowicznego rozproszenia wzbudzonej nadwyżki ciśnienia liczony od maksymalnej wartości wzbudzonego ciśnienia,

$t_{u_{max}}$ – czas, po którym została osiągnięta maksymalna wartość ciśnienia.

Burns i Mayne (Mayne 2001) przedstawili metodykę analizy krzywych



RYSUNEK 2. Skorygowana krzywa rozpraszania dylatancyjnego: a – metodą odcięcia części wykresu w punkcie maksymalnego ciśnienia porowego Sully i in. (1999), b – metodą wstecznej ekstrapolacji Sully i in. (1999)

FIGURE 2. The corrected dilatancy dissipation curve: a – shifting the origin of time method to point where the measured pore water pressure is maximum Sully et al. (1999), b – back extrapolation method Sully et al. (1999)

Chai i inni (2004) zaproponowali wzór empiryczny umożliwiający uzyskanie skorygowanego czasu (t_{50m}), który następnie może być wykorzystany w zależnościach przedstawionych dla rozpraszania standardowego. Przedstawiona przez wcześniej wymienionych autorów zależność ma następującą postać:

rozproszenia, która może być wykorzystywana zarówno do wyznaczania parametrów przepływu w przypadku krzywych o przebiegu standardowym, jak i niestandardowym. Wymaga ona jednak rozwiązania rygorystycznych równań, z których wynik uzyskiwany jest poprzez przeprowadzanie kolejnych iteracji war-

tości w taki sposób, aby wyznaczona krzywa była jak najlepiej dopasowana do rzeczywistego przebiegu krzywej uzyskanej podczas badania. Podczas dopasowywania krzywych konieczne jest dostosowanie wielu parametrów grunto- wych, dlatego do zastosowania tej metody konieczne jest użycie odpowiedniego programu komputerowego.

Analiza wyników badań rozpraszania na terenie kampusu SGGW

Teren, na którym przeprowadzono badania, zlokalizowany jest na wysokości morenowej. Powierzchniową warstwę stanowią piaski gliniaste i pyły w stanie twardoplastycznym. Pod nimi zalegają piaski średnie i drobne w stanie średnio zagęszczonym. Poniżej występują warstwy silnie prekonsolidowanych glin piaszczystych brązowych w stanie twardoplastycznym, w których występują przeławicenia piasków i piasków gliniastych. Pod glinami piaszczystymi brązowymi zalegają gliny piaszczyste szare w stanie twardoplastycznym i półzwartym. Pod glinami piaszczystymi szarymi zalegają w stropie bardzo zagęszczone piaski, drobne i średnie (Rabarijoely i Garbulewski 2012).

Badania CPTU zostały przeprowadzone w celu rozpoznania parametrów filtracyjnych glin piaszczystych zalegających w podłożu kampusu SGGW. Podczas sondowania wykonano testy rozpraszania w glinach brązowych na głębokości 5,86 m (rys. 1a) oraz w glinach szarych na głębokości 9,24 m (rys. 1b).

Wyniki badań przeprowadzonych przez Rabarijoely'ego i Garbulewskiego (2012) wskazują, że grunty zalegające w podłożu na głębokości 5,86 m są silnie prekonsolidowane ($OCR \approx 6\div 8$). Dla gruntów silnie prekonsolidowanych krzywe dyssypacji mają przebieg niestandardowy, co potwierdza uzyskany wynik badania. Z wyników analizy krzywej rozpraszania dylatacyjnego uzyskanej na głębokości 5,86 m i proponowanych metod jej korekty wynika, że współczynnik filtracji gruntów zalegających w podłożu oscyluje w granicach $k = 10^{-8}\div 10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z obliczeń współczynnika konsolidacji na podstawie wzorów (4), (5) i (6) wynika, że c_h tych gruntów znajduje się w zakresie $0,34\text{--}6,00 \text{ cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ (tab. 2).

Proponowane metody korekty krzywych rozpraszania dylatacyjnego nie pozwalają jednoznacznie określić parametrów przepływu gruntu, wykazując kilkukrotne różnice w uzyskanych wynikach obliczeń. Jednocześnie wyniki uzyskane z obliczeń opartych na krzywych skorygowanych według metody Sully'ego i innych (1999) są kilkukrotnie niższe niż wyniki uzyskane z wykorzystaniem korekty t_{50m} , zaproponowanej przez Chaia i innych (2004) – rysunek 3.

Badanie rozpraszania ciśnienia wody w porach w prekonsolidowanych glinach piaszczystych szarych na głębokości 9,24 m wykazało, że krzywa rozpraszania ma przebieg monotoniczny (rys. 1b). Wynika to z faktu, że sondowanie zostało zatrzymane na stropie bardzo zagęszczonych piasków drobnych i średnich, a wzbudzona nadwyżka ciśnienia uległa częściowemu rozproszeniu w warstwie piasków. Z analizy krzywej rozpraszania monotonicznego uzyskanej na

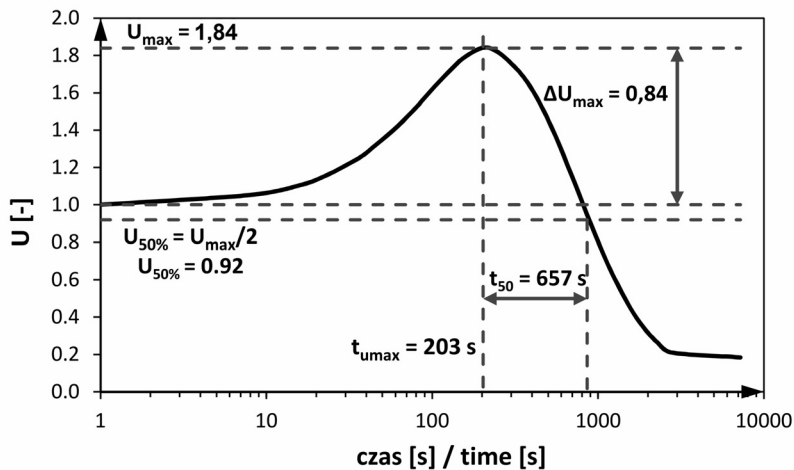
TABELA 2. Wyniki analizy krzywej rozpraszania dylatacyjnego na głębokości 5,86 m
TABLE 2. Results of analysis of dilatatory dissipation curve from depth 5.86 m

Nr wzoru/ /Formula number	Obliczany parametr/ /Calculated parameter	Metoda korekty t_{50} /Time t_{50} correction method		
		Sully i in. (1999) Rys. 2a/Fig. 2a	Sully i in. (1999) Rys. 2b/Fig. 2b	Chai i in (2004) Rys. 3/Fig. 3
		$t_{50} = 11,33$ min	$t_{50} = 8,07$ min	$t_{50m} = 1,67$ min
3	k_h [$m \cdot s^{-1}$]	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$
3 → 2	c_h [$cm^2 \cdot min^{-1}$]	15,6	23,8	170,5
4 → 2	k_h [$m \cdot s^{-1}$]	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$6,9 \cdot 10^{-10}$
4	c_h [$cm^2 \cdot min^{-1}$]	0,34	0,47	2,29
5 → 2	k_h [$m \cdot s^{-1}$]	$1,10 \cdot 10^{-10}$	$1,55 \cdot 10^{-10}$	$7,50 \cdot 10^{-10}$
5	c_h [$cm^2 \cdot min^{-1}$]	0,60	0,84	4,05
6 → 2	k_h [$m \cdot s^{-1}$]	$1,64 \cdot 10^{-10}$	$2,30 \cdot 10^{-10}$	$1,11 \cdot 10^{-9}$
6	c_h [$cm^2 \cdot min^{-1}$]	0,88	1,24	6,00

Parametry wykorzystane w obliczeniach/ Parameters used in calculations:

$M = 90$ MPa – moduł ściśliwości obliczony na podstawie wyników badania CPTU, $\alpha_M = 8,25$ Mayne (2001)/constrained modulus calculated from CPTU test data, $\alpha_M = 8.25$ Mayne (2001).

$I_R = 75$ – wskaźnik sztywności gruntu określony na podstawie nomogramu Keyveny & Mitchell Mayne (2001)/rigidity index estimated from Keyveny & Mitchell Mayne nomogram (2001).



RYSUNEK 3. Wyznaczenie skorygowanego czasu t_{50m} metodą Chai i in. (2004)

FIGURE 3. Evaluation of corrected time t_{50m} by Chai et al. (2004) method

głębokości 9,24 m wynika, że współczynnik filtracji gruntów zalegających w podłożu wynosi $k = 10^{-9} \div 10^{-11} m \cdot s^{-1}$. Obliczenia współczynnika konsolidacji (c_h) na podstawie wzorów (4),

(5) i (6) wskazują, że znajduje się on w zakresie $0,36 \div 0,94 cm^2 \cdot min^{-1}$ (tab. 3).

Wyniki obliczeń parametrów przepływu uzyskane na podstawie analizy krzywej rozpraszania standardowego

TABELA 3. Wyniki analizy krzywej rozpraszania monotonicznego na głębokości 9,24 m
TABLE 3. Results of analysis of monotonic dissipation curve from depth 9.24 m

Nr wzoru/Formuła number		k_h [m·s ⁻¹]	c_h [cm ² ·min ⁻¹]
k_h	c_h		
3	2	$3,1 \cdot 10^{-9}$	16,78
2	4	$6,6 \cdot 10^{-11}$	0,36
2	5	$1,2 \cdot 10^{-10}$	0,63
2	7	$1,7 \cdot 10^{-10}$	0,94

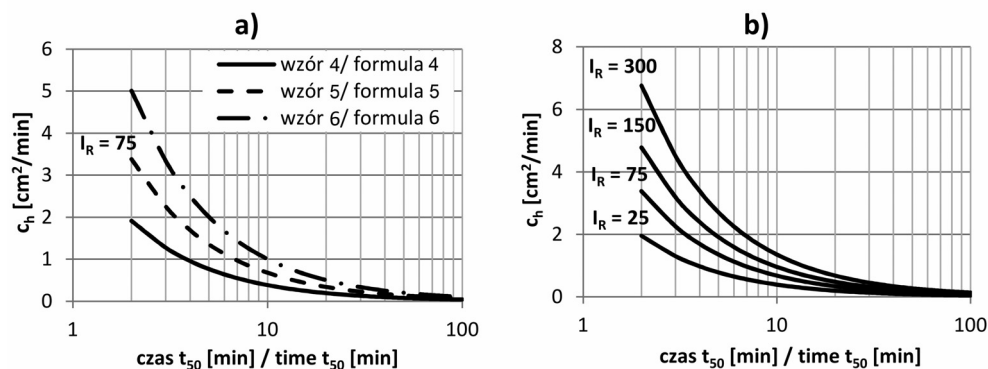
Parametry wykorzystane w obliczeniach/Parameters used in calculations:

$M = 100$ MPa – moduł ściśliwości obliczony na podstawie wyników badania CPTU, $\alpha_M = 8,25$ (Mayne 2001)/constrained modulus calculated from CPTU test data, $\alpha_M = 8.25$ (Mayne 2001).

$I_R = 75$ – wskaźnik sztywności gruntu określony na podstawie nomogramu Keyveny Mitchell (Mayne 2001)/rigidity index estimated from Keyveny & Mitchell nomogram (Mayne 2001).

wykazują znacznie większą zbieżność niż wyniki uzyskane na podstawie analizy krzywej niestandardowej. Jednocześnie obliczenia wykazały, że największe różnice wartości występowały przy stosowaniu wzoru Pareza i Fauriela – wzór (3). Analiza i porównanie metod wyznaczania współczynnika konsolidacji – wzór (4), (5) i (6), w zależności od zmiennego czasu – t_{50} , oraz zmian wskaźnika sztywności gruntu – I_R (rys. 4), potwierdza fakt, że najlepszą metodą

wyznaczania współczynnika konsolidacji jest wzór zaproponowany przez Houlsby’ego i Teha – wzór (5). Jest to związane z możliwością uwzględnienia w obliczeniach wskaźnika sztywności gruntu, co pozwala na wprowadzenie dodatkowego parametru związanego z naruszeniem strefy gruntu wokół sondy podczas badania. Dzięki temu możliwe jest bardziej precyzyjne oszacowanie parametrów przepływu gruntu. Jednocześnie na podstawie przeprowadzonej



RYSUNEK 4. Porównanie metod wyznaczania współczynnika konsolidacji z badań rozpraszania ciśnienia w zależności od t_{50} : a – porównanie 3 metod, b – zmiana wartości współczynnika konsolidacji w zależności od wskaźnika sztywności (I_R) wzór (5)

FIGURE 4. Comparison of methods for determining coefficient of consolidation from dissipation test according to t_{50} : comparison of 3 methods, b – change of coefficient of consolidation values according to change of rigidity index (I_R) formula (5)

analizy (rys. 4) wynika, że wzór (4) może być stosowany dla gruntów o małej sztywności ($c_{h(\text{wzór } 4)} = c_{h(\text{wzór } 5)}$ dla gruntów o $I_R \approx 25$), a wzór (6) do gruntów o większej sztywności ($c_{h(\text{wzór } 6)} = c_{h(\text{wzór } 5)}$ dla gruntów o $I_R \approx 160$).

Ponadto, należy zachować ostrożność przy przeliczaniu współczynnika filtracji na współczynnik konsolidacji (i odwrotnie) przy zastosowaniu wzoru (2). Błędne oszacowanie modułu ściśliwości (M) może prowadzić do znacznego przeszacowania (niedoszacowania) wyznaczanego parametru.

Podsumowanie i wnioski

Specyfika wielu obecnie powstających obiektów wymaga często znajomości właściwości hydraulicznych podłoża gruntowego. Jedną z metod umożliwiającą uzyskanie parametrów przepływu gruntów stanowią sondowania statyczne CPTU będące jednymi z podstawowych badań podłoża w warunkach in situ. Określenie parametrów filtracyjnych podłoża gruntowego na podstawie sondowań CPTU wiąże się nie tylko z wykonaniem samego pomiaru, ale także z interpretacją uzyskanych wyników badań. W literaturze można spotkać wiele podejść obliczeniowych umożliwiających wyznaczenie parametrów przepływu na podstawie badań CPTU. Brak doświadczenia i nieumiejętne stosowanie proponowanych w literaturze wzorów i nomogramów może prowadzić do błędów przy obliczaniu wartości poszukiwanego parametru. Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analizy można sformułować następujące wnioski:

- proponowane w literaturze metody analizy krzywych rozpraszania standardowego pozwalają na uzyskanie zbliżonych wartości parametrów hydraulicznych,
- w przypadku występowania krzywej rozpraszania o przebiegu monotonicznym wzór (4) może być stosowany dla gruntów o małej sztywności ($I_R \approx 25$), a wzór (6) do gruntów o $I_R \approx 160$,
- proponowane w literaturze metody korekty krzywych dylatacyjnych nie umożliwiają jednoznacznego określenia parametrów przepływu,
- metody interpretacji krzywych niestandardowych wciąż wymagają rozwoju.

Literatura

- CHAI J.-C., CARTER J.P., MIURA N., HINO T. 2004: Coefficient of consolidation from piezocone dissipation test. Proc. of International Symposium on Lowland Technology. International Symposium on Cone Penetration Testing, California, 2010.
- CHAI J., SHENG D., CARTER J.P., ZHU H. 2012: Coefficient of consolidation from non-standard piezocone dissipation curves. *Computers and Geotechnics* 41: 13–22.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWEL J.J. M. 1997: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic and Professional, London.
- MAYNE P.W. 2001: Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. International Conference on in-situ measurement of soil properties & case histories, Bali, Indonesia.
- RABARIJOELY S., GARBULEWSKI K. 2012: Grunty – przykład materiałów z pamięcią, *Prz. Nauk. – Inż. Kszt. Środ.* 57: 182–194.
- ROBERTSON P.K. 2010: Estimating in-situ soil permeability from CPT & CPTu. Proc. 2nd.

ROBERTSON P.K., CABAL K.L. 2012: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering 5th Edition. Gregg Drilling & Testing.

SULLY J.P., ROBERTSON P.K., CAMPANELLA R.G., WOELLER D.J. 1999: An approach to evaluation of field CPTU dissipation data in overconsolidated fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal* 36: 369–381.

Streszczenie

Interpretacja wyników rozpraszania ciśnienia wody w porach gruntu z badań CPTU pod kątem określania właściwości hydraulicznych podłoża gruntowego.

W artykule przedstawiono metody wyznaczania właściwości filtracyjnych podłoża na podstawie badań rozpraszania ciśnienia wody w porach za pomocą sondowań statycznych CPTU. Pokazano podejścia interpretacyjne proponowane przez różnych autorów zarówno do analizy krzywych rozpraszania monotonicznego (standardowego), jak i krzywych charakteryzujących się dylatancyjnym (niestandardowym) przebiegiem rozpraszania powstałej nadwyżki ciśnienia. Przedstawiono także wyniki testów rozpraszania ciśnienia wody w porach gruntu uzyskane na terenie kampusu SGGW wraz z ich interpretacją i porównaniem wyników otrzymanych poprzez zastosowanie różnych podejść obliczeniowych. Ponadto dokonano porównania kilku podejść obliczeniowych

ukazujące różnice w uzyskiwanych wynikach w zależności od zmienności parametrów stosowanych do obliczeń.

Summary

Interpretation of CPTU dissipation test results to determine soil hydraulic properties.

The article presents a methods for determining soil hydraulic parameters based on field measurements of the CPTU probe. The interpretation approach by various authors for the analysis of both monotonic dissipation curve and dilatancy dissipation curve have been shown and compared. The paper presents also the example test results of water flow parameters carried out in the SGGW campus in Warsaw with their interpretation and comparison of results obtained by using different computational approaches. Furthermore, a comparison of several computational approaches showing the differences in the results obtained according to the variation of the parameters used for calculations is shown.

Authors' address:

Lukasz Zawadzki, Mariusz Lech
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: lukasz_zawadzki@sggw.pl
mariusz_lech@sggw.pl