

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA KONSOLIDACJI PIONOWEJ I POZIOMEJ W SŁABONOŚNYCH GRUNTACH ORGANICZNYCH

Edyta Malinowska, Bartłomiej Bursa, Piotr Chmielnicki,
Wojciech Dziuba

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Wyznaczanie współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej w słabonośnych gruntach organicznych jest istotnym uzupełnieniem opisu charakterystyki naprężenie – odkształcenie w gruntach, które charakteryzuje duża anizotropia. Początkowa duża przepuszczalność znacząco malejąca w procesie odkształcenia, duża ściśliwość i nieliniowość parametrów zarówno odkształceniowych, jak i przepływu stanowi wyzwanie dla inżynierów, niejednokrotnie szukających możliwości posadowienia obiektów na słabonośnym podłożu budowlanym. W pracy scharakteryzowano metodę wyznaczania współczynnika konsolidacji, zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym, oraz podano podstawowe zasady laboratoryjnego badania gruntów z wykorzystaniem komory Rowe’a.

Słowa kluczowe: współczynnik konsolidacji pionowej, współczynnik konsolidacji poziomej, słabonośne grunty organiczne, komora Rowe’a.

WSTĘP

Rozwój budownictwa, zarówno komunalnego, przemysłowego, jak i komunikacyjnego, powoduje wzrost zapotrzebowania na podłoże budowlane, niejednokrotnie zlokalizowane na słabonośnych gruntach organicznych. Coraz większa liczba posadowień różnych inwestycji budowlanych na słabonośnych torfach wymusza na inżynierach konieczność dokładnego zapoznania się z właściwościami fizycznymi i mechanicznymi tych gruntów. Szczególnie ważnym aspektem badań jest obserwacja odkształceń anizotropowego słabonośnego gruntu organicznego pod obciążeniem.

Posadowienie obiektów inżynierskich na słabonośnych gruntach organicznych może powodować wiele błędów, z których najbardziej oczywistymi i trudnymi do rozpoznania są odkształcenia, zarówno pionowe, jak i poziome. Wyniki badań laboratoryjnych wska-

zują, że odkształcenia słabonośnych gruntów organicznych pojawiają się natychmiast po przyłożeniu obciążenia i szybko rosną w miarę rozpraszania się nadwyżki ciśnienia wody w porach oraz utrzymują się jeszcze długo po tym procesie, co jest związane z pełzaniem szkieletu.

Zasadniczą część osiadań podłoża stanowią odkształcenia konsolidacyjne. Proces konsolidacji zachodzi, gdy następuje zmniejszenie objętości porów gruntowych, przy jednoczesnym odpływie zgromadzonej w nich wody. Podczas odpływu wody następuje przekazywanie obciążenia na szkielet gruntowy, co powoduje wzrost naprężeń efektywnych w gruncie oraz zmianę porowatości.

W badaniach laboratoryjnych obserwuje się silną anizotropię słabonośnych gruntów organicznych i nieliniowość charakterystyk przepływu, co powinno być uwzględnione w szczegółowym opisie procesu konsolidacji [Szymański 1991, Malinowska 2005, Malinowska i in. 2011].

W związku z tym wyznaczanie współczynnika konsolidacji zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym w słabonośnych gruntach organicznych jest istotnym uzupełnieniem opisu charakterystyk naprężenie – odkształcenie.

METODYKA WYZNACZANIA WSPÓLCZYNNIKA KONSOLIDACJI PIONOWEJ I POZIOMEJ

Wyznaczenie współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej oparte jest na pośrednich metodach empirycznych: Casagrandego, Taylora i Robinsona [Head 1982]. W tym celu niezbędne jest wykonanie badań konsolidacji określających zależność odkształcenia od naprężenia.

Współczynnik konsolidacji jest jednym z mechanicznych parametrów niezbędnych do obliczenia wartości i prędkości odkształcenia konsolidacyjnego gruntów pod obciążeniem. W celu wyznaczenia współczynnika konsolidacji zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym konieczne jest określenie dokładnego punktu końca osiadań konsolidacyjnych. Bez wiedzy dotyczącej całkowitego rozproszenia nadwyżki ciśnienia wody w porach i tym samym końca procesu konsolidacji pierwotnej niezwykle trudne jest dokładne określenie czasu pomiędzy konsolidacją pierwotną a wtórną.

W praktyce powszechnie stosowaną metodą do wyznaczenia współczynnika konsolidacji jest metoda Casagrandego i Taylora. W mniejszym stopniu stosowana jest metoda Robinsona z uwagi na fakt, iż wykorzystuje ona zależność pomiędzy stopniem rozproszenia nadwyżki ciśnienia wody w porach a czasem. Dlatego nie może być stosowana w standardowych edometrycznych badaniach laboratoryjnych.

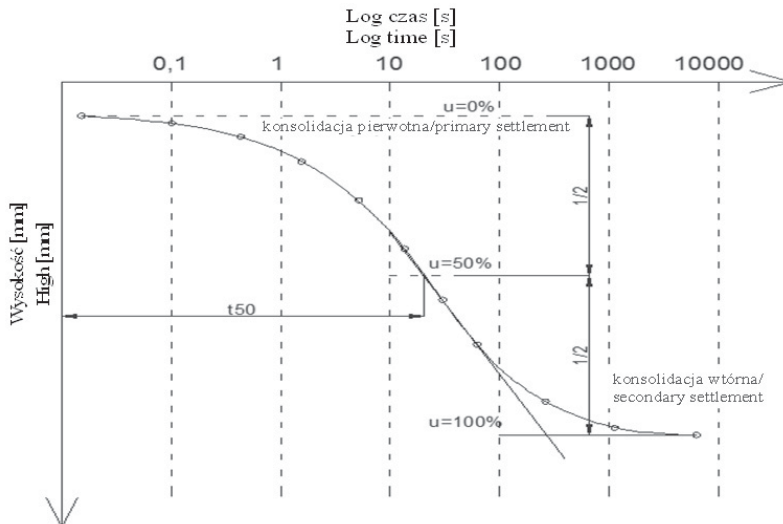
Metoda Casagrandego

Metoda Casagrandego polega na wyznaczeniu współczynnika konsolidacji pionowej na podstawie zależności wysokości próbki od czasu w skali logarytmicznej (rys. 1).

Zależność współczynnika konsolidacji w funkcji czasu można przedstawić następującym wzorem empirycznym:

$$c_v = T_v \cdot \frac{h^2}{t_{50}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie: T_v – czynnik czasu dla stopnia skonsolidowania próbki równego 50%,
 h – wysokość odpowiadająca 50% skonsolidowania próbki w komorze Rowe'a,
 t_{50} – czas odczytany z krzywej konsolidacji dla $U = 50\%$,
 U – stopień konsolidacji próbki gruntu.



Rys. 1. Wyznaczanie współczynnika konsolidacji według metody Casagrandego
 Fig. 1. Obtaining the consolidation of coefficient by Casagrande method

Przy wyznaczaniu współczynnika konsolidacji metodą Casagrandego niezbędne jest określenie czasu t_{50} , który odczytuje się na podstawie krzywej konsolidacji uzyskanej z badań w komorze Rowe'a, jako czas, w którym zachodzi 50% konsolidacji. Po ustaleniu osiadania początkowego należy określić miejsce krzywej konsolidacji pierwotnej oraz wtórnej, a następnie poprowadzić proste, które będą przedłużeniem końcowych odcinków tych krzywych. Miejsce przecięcia tych krzywych wyznacza punkt, w którym zachodzi 100% konsolidacji ($U = 100\%$). Kolejnym krokiem jest poprowadzenie prostych poziomych – pierwszą przez początek krzywej konsolidacji, która odpowiada początkowemu odczytowi na czujniku przemieszczeń ($U = 0\%$), i kolejną przechodzącą przez punkt przecięcia końcowych odcinków krzywych konsolidacji pierwotnej i wtórnej, w którym konsolidacja zachodzi w 100% ($U = 100\%$). Połowa różnicy rzędnych poziomych pozwoli określić czas t_{50} , w którym zachodzi 50% konsolidacji ($U = 50\%$). Odczytując czas t_{50} i podstawiając do wzoru (1), można obliczyć współczynnik konsolidacji.

Czynnik czasu T_v , w którym zachodzi 50% konsolidacji, przyjmowany jest zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1. Czynniki czasu (T_v) do określania współczynnika konsolidacji
 Table 1. Time rate (T_v) to obtain coefficient of consolidation

Współczynnik konsolidacji Coefficient of consolidation	Rodzaj drenażu Type of drainage	Rodzaj zadawania obciążenia Type of loading	T_v
C_v	Pionowy pojedynczy Single vertical	Swobodny i równy Free & equal	0,197
C_v	Pionowy, podwójny Double vertical	Swobodny i równy Free & Equal	0,260
C_{ho}	Poziomy, do zewnątrz Outflow horizontal	Swobodny Free	0,008
C_{ho}	Poziomy, do zewnątrz Outflow horizontal	Równy Equal	0,011
C_{hi}	Poziomy, do wewnątrz Inflow horizontal	Swobodny i równy Free & Equal	0,100

Metoda Taylora

Metoda Taylora polega na wyznaczeniu współczynnika konsolidacji na podstawie zależności wysokości próbki od pierwiastka kwadratowego czasu.

Korzystając ze wzoru empirycznego (2), można obliczyć współczynnik konsolidacji pionowej, stosując czynnik czasu równy 90% skonsolidowania próbki gruntu:

$$c_v = T_v \cdot \frac{h^2}{t_{90}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie: T_v – czynnik czasu równy 0,848 dla stopnia skonsolidowania próbki równego 90% ($U = 90\%$),

t_{90} – czas odczytany z krzywej konsolidacji dla $U = 90\%$,

h – wysokość odpowiadająca 90% skonsolidowania próbki w komorze Rowe'a.

Przy wyznaczaniu współczynnika konsolidacji metodą Taylora niezbędne jest określenie czasu t_{90} , który odczytuje się na podstawie krzywej konsolidacji uzyskanej z badań w komorze Rowe'a, jako czas, w którym zachodzi 90% konsolidacji. Prostoliniowy odcinek wykresu należy przedłużyć do przecięcia z osią rzędnych, a następnie z tego punktu poprowadzić prostą nachyloną do osi rzędnych pod kątem β ($\text{tg}\beta = 1,15\text{tg}\alpha$, gdzie α – kąt nachylenia prostoliniowego odcinka wykresu do osi rzędnych). Punkt przecięcia otrzymanej prostej z krzywą konsolidacji odpowiada czasowi t_{90} , w którym zachodzi 90% konsolidacji, a czynnik czasu dla $U = 90\%$ wynosi $T_v = 0,848$.

Metoda Robinsona

Laboratoryjne badania w komorze Rowe'a umożliwiły rozszerzenie badań konsolidacji nie tylko o jej anizotropię, ale przede wszystkim o pełny pomiar i kontrolę rozpraszania ciśnienia wody w porach. Zaproponowana przez Robinsona metoda pozwala na wyznaczenie współczynnika konsolidacji przy wykorzystaniu pomiarów ciśnienia wody w porach gruntowych [Robinson 1999].

Korzystając ze wzoru empirycznego (3), można obliczyć współczynnik konsolidacji pionowej, stosując czynnik czasu równy 50% rozproszenia ciśnienia wody w porach:

$$c_v = T_v \cdot \frac{h^2}{t_{50}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie: T_v – czynnik czasu równy 0,379 dla rozproszenia ciśnienia wody w porach równego 50%,

t_{50} – czas odczytany z krzywej rozproszenia ciśnienia wody w porach dla $U = 50\%$,

h – połowa wysokości próbki w komorze Rowe'a.

CHARAKTERYSTYKA OŚRODKA GRUNTOWEGO

W ramach badań laboratoryjnych pobrano próbki NNS torfu ze skarpy ursynowskiej, Kampusu SGGW oraz określono właściwości fizyczne przedstawione w tabeli 2. Badania laboratoryjne konsolidacji torfu zostały wykonane w komorze Rowe'a przy porównywalnych parametrach testowych.

Tabela 2. Właściwości fizyczne torfów pobranych z obiektu doświadczalnego Kampus SGGW
Table 2. Physical properties of peats taken from Campus of WULS – SGGW

Właściwości fizyczne – Physical properties	Kampus SGGW
Wilgotność – Water content, w_n [%]	385
Gęstość właściwa – Density of solid particles, ρ_s [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	15
Gęstość objętościowa – Bulk density, ρ [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	10–12
Gęstość objętościowa szkieletu – Dry density, ρ_d [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$]	2,5
Zawartość części organicznych – Organic matter content, I_{om} [%]	78
Stopień rozkładu – Humification degree R [%]	65
Porowatość – Porosity, n [–]	0,8
Początkowy wskaźnik porowatości – Initial void ratio, e_0 [–]	4,0

Badania współczynnika konsolidacji pionowej zostały przeprowadzone zgodnie z zakresem badań podanym w tabeli 3a. Natomiast badania współczynnika konsolidacji poziomej – zgodnie z zakresem badań podanym w tabeli 3b.

METODYKA BADAŃ WSPÓLCZYNNIKA KONSOLIDACJI W KOMORZE ROWE'A

Komorze Rowe'a jest wykorzystywana do laboratoryjnych badań geotechnicznych [Rowe i Barden 1966]. Umożliwia ona wykonywanie badań konsolidacji i przepływu zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym.

Tabela 3. Parametry do badań laboratoryjnych współczynnika konsolidacji w komorze Rowe'a
 Table 3. Tested parameters in Rowe cell

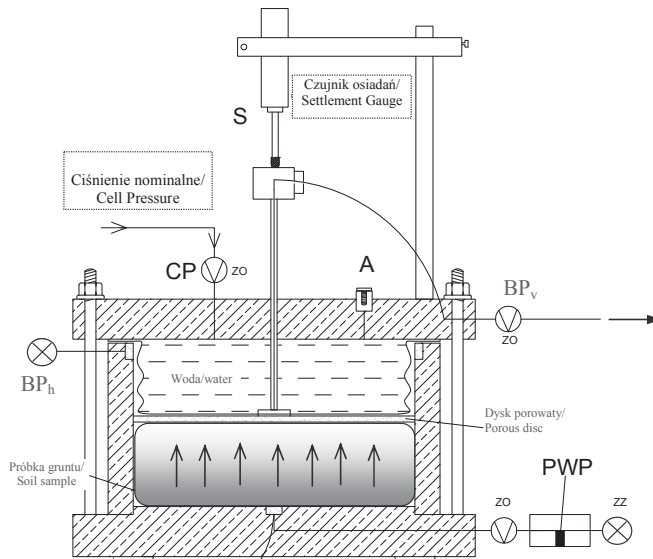
Ciśnienie nominalne Cell pressure [kPa]	Ciśnienie wyrównawcze Back pressure [kPa]	Naprężenie efektywne Effective stress [kPa]
Tabela 3a – Table 3a		
80	60	20
100	60	40
140	60	80
220	60	160
380	60	320
700	60	640
Tabela 3b – Table 3b		
120	100	20
140	100	40
180	100	80
260	100	160
420	100	320
740	100	640

Możliwe jest wykonanie badań konsolidacji dwiema metodami, w zależności od sposobu zadania obciążenia. Sposób pierwszy nosi nazwę swobodnego nacisku – obciążenie zadawane jest na próbkę za pomocą gumowej membrany, ale pomiędzy próbką a membraną umieszczony jest elastyczny porowaty dysk. Sposób drugi – równego nacisku – przenosi obciążenie poprzez sztywną płytkę, która utrzymuje płaską do próbki powierzchnię.

Badanie konsolidacji w komorze Rowe'a można wykonywać na 12 różnych sposobów, w zależności od zadawanych obciążeń i warunków odpływów (pojedynczego lub podwójnego). W celu scharakteryzowania metodyki wyznaczania współczynnika konsolidacji zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym w pracy wykorzystano najbardziej powszechnie stosowane typy badań w komorze Rowe'a, tj. ze swobodnym naciskiem i pojedynczym przepływem pionowo ku górze lub poziomo na zewnątrz próbki gruntu.

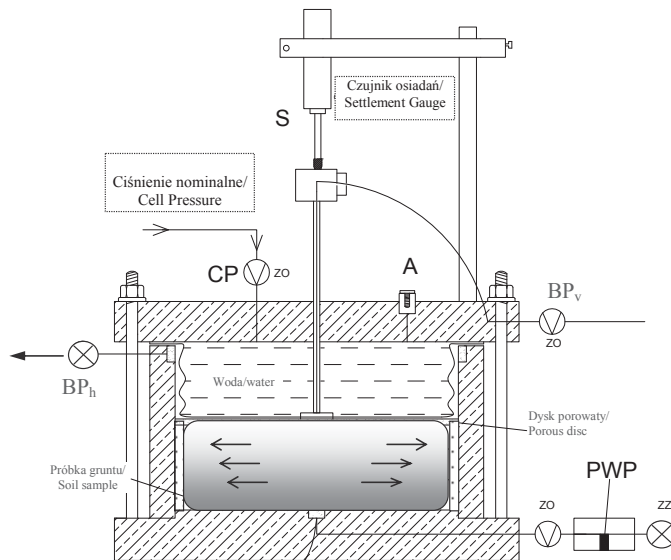
Na rysunku 2 przedstawiono schemat do badań współczynnika konsolidacji w kierunku pionowym ze swobodnym naciskiem. W badaniach tych parametrami zadawanymi są: ciśnienie nominalne (CP) oraz ciśnienie wsteczne (BP_v) – utrzymywane tak, aby pożądana wartość naprężenia efektywnego była na stałym poziomie. Parametrami mierzonymi są: wartość osiadania (S) i ciśnienie wody w porach (PWP). Natomiast zawór BP_h do pomiaru ciśnienia wstecznego w kierunku poziomym jest zamknięty.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat do badań współczynnika konsolidacji w kierunku poziomym ze swobodnym naciskiem. W badaniach tych parametrami zadawanymi są: ciśnienie nominalne (CP) oraz ciśnienie wsteczne (BP_h) – utrzymywane tak, aby pożądana wartość naprężenia efektywnego była na stałym poziomie. Parametrami mierzonymi



Rys. 2. Schemat do badania współczynnika konsolidacji w kierunku pionowym w komorze Rowe'a: zo – zawór otwarty, zz – zawór zamknięty

Fig. 2. Scheme for obtaining coefficient of consolidation with vertical drainage in Rowe cell: zo – open valve, zz – close valve



Rys. 3. Schemat do badania współczynnika konsolidacji w kierunku poziomym w komorze Rowe'a: zo – zawór otwarty, zz – zawór zamknięty

Fig. 3. Scheme for obtaining coefficient of consolidation with horizontal drainage in Rowe cell: zo – open valve, zz – close valve

są: wartość osiadania (S) i ciśnienie wody w porach (PWP). Natomiast zawór BP_v do pomiaru ciśnienia wstecznego w kierunku pionowym jest zamknięty.

Zarówno hydrauliczne zadawanie, jak i pomiar wszystkich parametrów niezbędnych do przeprowadzenia i analizy badań konsolidacji są sterowane automatycznie. Programem obsługującym komorę Rowe'a, dostępną w Centrum Wodnym SGGW w Warszawie, jest Clisp Studio.

Program Clisp Studio stworzony przez firmę VJ Technology jest przydatnym narzędziem przy wykonywaniu badań w komorze Rowe'a. Z jego pomocą można kontrolować pracę urządzeń, programować badanie (począwszy od etapu nasączenia do etapu badania przepływu), rejestrować wyniki oraz bieżąco kontrolować przebieg badania za pomocą wykresów rysowanych w czasie rzeczywistym. Program komunikuje się z kontrolerami ciśnienia i odbiera informację z czujników za pomocą miniskanera podłączonego do jednostki centralnej. Wszystkie informacje są przesyłane na bieżąco do programu, natomiast możliwość wyświetlenia ich w jednym oknie ułatwia skontrolowanie przebiegu badania i w razie potrzeby skorygowania zadanych paramentów. Rejestr parametrów umożliwia programowanie badań w dowolnych odstępach czasowych liniowych lub nieliniowych. Moduł tworzenia wykresów w czasie rzeczywistym posiada duże możliwości modyfikacji i tworzenia własnych ustawień wykresów.

Programowanie badania rozpoczyna się od etapu nasączenia. Na tym etapie programuje się pracę kontrolerów ciśnienia (CP oraz BP). Istnieje możliwość wprowadzenia dowolnej liczby kroków, zwiększając przy każdym ciśnienie zadawane przez kontrolery, tak aby efektywne ciśnienie działające na próbkę było w każdym kroku takie samo. Każdy krok składa się z dwóch części. Pierwsza część polega na skontrolowaniu stopnia nasycenia próbki (zwiększając ciśnienie na membranie, sprawdzany jest przyrost ciśnienia wody w porach przy zamkniętym odpływie), na tym etapie program rejestruje zmianę ciśnienia wody w porach w czasie oraz oblicza parametr Skemptona (parametr nasycenia próbki). Druga część to nasączenie, podczas którego program rejestruje zmianę objętości wody w próbce. Po zakończeniu wszystkich kroków nasączenia istnieje możliwość skontrolowania parametru Skemptona oraz objętości wody, która została wtłoczona do próbki.

Następnym etapem badań jest konsolidacja, którą programuje się bardzo podobnie jak etap nasączenia, z tą różnicą, że cały czas utrzymuje stałe ciśnienie *back pressure* – BP, a zwiększane jest tylko ciśnienie na membranę – CP. Podczas etapu konsolidacji program na bieżąco monitoruje osiadanie próbki (S) i ciśnienie wody w porach (PWP) oraz wylicza wskaźnik porowatości i rozproszenie ciśnienia wody porach. Możliwe jest zatrzymanie danego kroku ręcznie lub automatycznie, ustalając warunki zatrzymania badania. Po zakończeniu badania wszystkie wyniki można z łatwością wyeksportować do programu Excel i dokonać dalszych obliczeń.

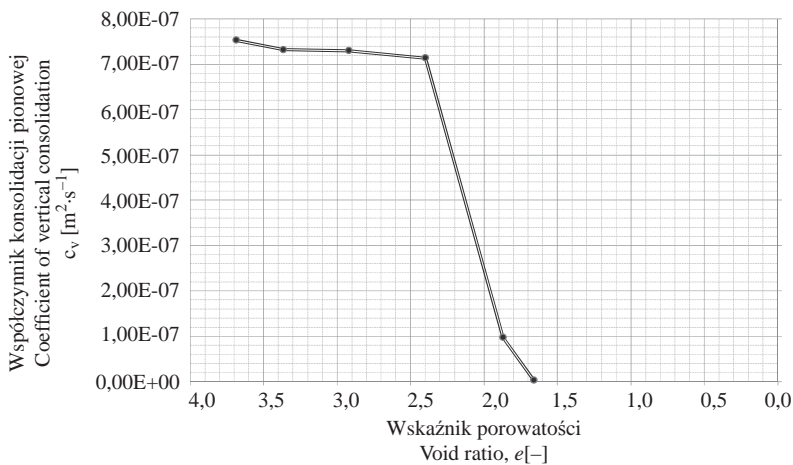
ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH W KOMORZE ROWE'A

Analizę wyników laboratoryjnych w komorze Rowe'a oparto na porównaniu wartości współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej wyznaczonych z metody Casagrandego. W tabeli 4 przedstawiono wyniki wyznaczenia współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej w zależności od działania tych samych wartości naprężeń efektywnych.

Tabela 4. Analiza wyników badań współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej
 Table 4. The analysis of coefficient of vertical and horizontal consolidation results

Napężenie efektywne Effective stress σ' [kPa]	Współczynnik konsolidacji pionowej Coefficient of vertical consolidation c_v [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	Współczynnik konsolidacji poziomej Coefficient of horizontal consolidation c_h [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
20	7,530E-07	2,484E-08
40	7,320E-07	8,612E-08
80	7,301E-07	5,546E-08
160	7,140E-07	2,360E-08
320	9,725E-08	1,367E-08
640	2,831E-09	2,124E-10

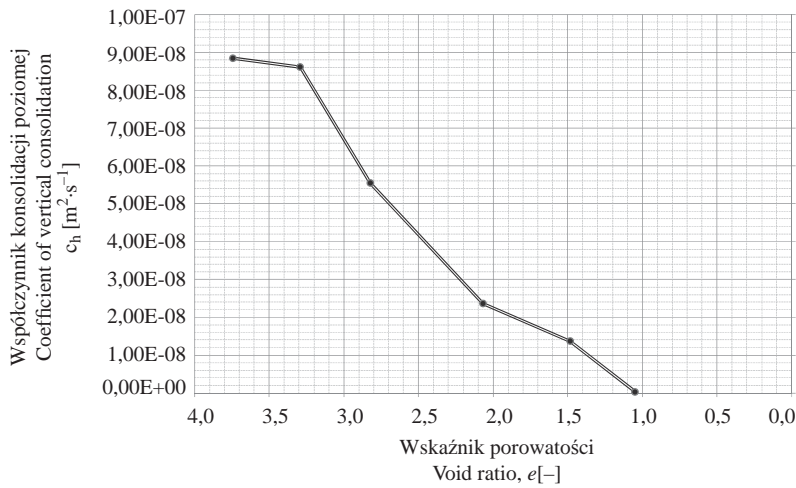
Na rysunku 4 przedstawiono zależność współczynnika konsolidacji pionowej od wskaźnika porowatości, na rysunku 5 – zależność współczynnika konsolidacji poziomej od wskaźnika porowatości, natomiast na rysunku 6 – zależność współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej od naprężenia efektywnego.



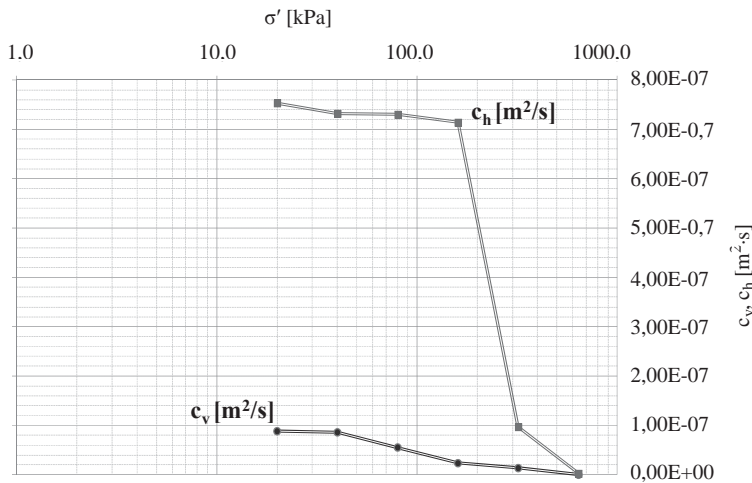
Rys. 4. Zależność współczynnika konsolidacji pionowej od wskaźnika porowatości
 Fig. 4. The relationship between coefficient of vertical consolidation and void ratio

PODSUMOWANIE

W celu uzyskania pełnego opisu odkształcalności słabonośnych gruntów organicznych niezbędne jest wykonanie badań konsolidacji z drenażem, zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym. Analiza porównawcza wyników współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej potwierdziła silną anizotropię słabonośnych gruntów organicznych.



Rys. 5. Zależność współczynnika konsolidacji poziomej od wskaźnika porowatości
 Fig. 5. The relationship between coefficient of horizontal consolidation and void ratio



Rys. 6. Zależność współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej od naprężenia efektywnego
 Fig. 6. The relationship between the coefficient of vertical and horizontal consolidation and effective stress

Podczas wykonywania laboratoryjnych badań konsolidacji w komorze Rowe'a możliwy jest ciągły pomiar osiadania, zmian objętości i pomiar ciśnienia wody w porach w funkcji czasu. Program obsługujący komorę Rowe'a – Clisp Studio, posiada duże możliwości tworzenia baz danych oraz pełną kontrolę komory Rowe'a. Możliwe jest programowanie badania, rysowanie wykresów w czasie rzeczywistym i bieżąca analiza wyników badań. Clisp Studio wyposażony jest w systemy bezpieczeństwa i przy przekroczeniu pewnych wartości program natychmiast przerywa badanie, aby nie doszło do

uszkodzenia urządzenia. Główną wadą zestawu, składającego się z komory Rowe'a, kontrolerów i programu Clisp Studio, jest jego skomplikowana obsługa.

Wyniki badań laboratoryjnych wskazują na znaczące odkształcenia organicznego podłoża budowlanego w fazie odkształceń pierwotnych, wtórnych i pełzania szkieletu. Ze względu na płynne i niejednokrotnie zachodzące na siebie przejście osiadań konsolidacyjnych we wtórne niezbędna jest kontrola zmiany nadwyżki ciśnienia wody w porach w czasie badań konsolidacyjnych. Tradycyjne sposoby wyznaczania współczynnika konsolidacji bazują na założeniu, że etap konsolidacji pierwotnej ma miejsce wtedy, gdy zależność osiadania od czasu przebiega zgodnie z teorią Terzaghiego. Teoria ta wykorzystywana jest także do identyfikacji fazy konsolidacji pierwotnej. Metoda Robinsona oparta na pomiarach ciśnienia wody w porach zakłada, że faza konsolidacji pierwotnej jest tym etapem, w którym osiadanie zachodzi w wyniku rozpraszania się nadmiaru ciśnienia wody w porach, a czas t_{50} jest dokładnie określony z krzywej stopnia konsolidacji.

Wyznaczanie współczynnika konsolidacji zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym powinno być oparte nie tylko na analizie osiadania próbki w czasie, ale dodatkowo na analizie zmian ciśnienia wody w porach (*PWP*), co jest możliwe tylko w komorze Rowe'a. Dlatego określone metodą Casagrandego wyniki badań współczynnika konsolidacji należałoby porównać z wynikami badań określonymi metodą Robinsona.

PIŚMIENNICTWO

- Head K.H., 1982. Manual of soil laboratory testing. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England.
- Malinowska E., 2005. Analiza odkształceń wybranych gruntów organicznych z uwzględnieniem nieliniowych charakterystyk przepływu. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Malinowska E., Szymański A., 2009. Analiza zmian gradientu hydraulicznego w charakterystykach przepływu słabonośnego podłoża. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 4 (46), 35–47.
- Malinowska E., Szymański A., Sas W., 2011. Estimation of flow characteristics in peat. ASTM Inter. Geotechnical Testing Journal 34, 3, 250–254.
- Olson R.E., 1986. Consolidation of soils: testing and evaluation. STP 892, ASTM, Philadelphia.
- Robinson R.G., 1999. Consolidation analysis with pore water pressure measurements. Geotechnique 49, 1, 128–132.
- Rowe P.W., Barden L., 1966. A new consolidation cell. Geotechnique 16, 2, 162–170.
- Szymański A., 1991. Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Rozprawa habilitacyjna. SGGW, Warszawa.

DETERMINATION OF THE VERTICAL AND HORIZONTAL COEFFICIENT OF CONSOLIDATION IN SOFT ORGANIC SOILS

Abstract. Determination of the vertical and horizontal coefficient of consolidation in soft organic soils is a significant completion of stress-strain characteristics. The organic soils are characterized by anisotropic structure. Large initial permeability, decreasing during the consolidation process, large compressibility and nonlinear strain and permeability characteristics can be a challenge for engineers building on soft subsoil. In the paper the method

and methodology of determination coefficient of consolidation in Rowe cell is presented. Also, the mean rules of testing in Rowe cell are described.

Key words: vertical coefficient of consolidation (c_v), horizontal coefficient of consolidation (c_h), soft organic soil.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.02.2013