

# CHARAKTERYSTYKA ROZKŁADU CIŚNIENIA POROWEGO W BADANIACH KONSOLIDACJI PAST GRUNTOWYCH Z PÓŁNOCNOPOLSKICH GLIN ZWAŁOWYCH

Sebastian KOWALCZYK\*, Tomasz SZCZEPAŃSKI, Paweł DOBAK

Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**Streszczenie:** Tematyka artykułu dotyczy zagadnienia dystrybucji ciśnienia porowego w badaniach konsolidacji przy stałej prędkości obciążenia (CRL). Badania przeprowadzono na pastach gruntowych sporządzonych z glin zwałowych zlodowacenia Wisły z okolic Susza na Pojezierzu Iławskim. Pasta gruntowa o naturalnym składzie granulometrycznym, lecz zmienionej strukturze (homogenicznej) i wilgotności, przygotowana została tak, aby uzyskać dwufazowy (nasycony wodą) ośrodek gruntowy. Przyjęta metodyka badań umożliwia porównanie otrzymanych wyników z teoretycznym modelem zmian wartości ciśnienia porowego w warunkach liniowego przyrostu naprężenia. W przeprowadzonych badaniach zastosowano różne prędkości obciążenia, co pozwoliło na przedstawienie wpływu tego czynnika na parametry charakteryzujące dystrybucję ciśnienia porowego. Studia nad zmiennością ciśnienia wody w porach w warunkach zróżnicowanych wymuszeń mają istotne znaczenie dla doskonalenia metod oceny parametrów filtracyjno-konsolidacyjnych ośrodka gruntowego.

*Słowa kluczowe:* badania konsolidacji typu CRL, ciśnienie porowe, pasta gruntowa.

## 1. Wprowadzenie

Badania konsolidacji wykonuje się przede wszystkim w celu prognozowania przebiegu osiadania, ale także można na ich podstawie pośrednio oceniać przepuszczalność gruntów. Przepuszczalność oraz odkształcalność gruntu są parametrami szczególnie istotnymi przy projektowaniu mineralnych barier izolacyjnych stanowiących podłoże obiektów zagrażających środowisku. Zatem charakterystyka tych parametrów dla oceny materiału gruntowego, który potencjalnie może stanowić barierę geologiczną, wydaje się być szczególnie istotna w czasach, gdy projektuje się coraz większą liczbę składowisk odpadów. Niezbędne jest także pogłębienie wiedzy na temat zjawisk zachodzących w ośrodku gruntowym podczas wznoszenia i eksploatacji składowisk odpadów oraz oceny zmian wartości parametrów gruntowych na poszczególnych etapach inwestycji. Jednocześnie w programowaniu badań uwzględniać należy warunki wymuszeń, szczególnie prędkość obciążenia, która na zasadach analogii wiąże modelowanie czasu osiadań z długością drogi drenażu (Dobak, 2003).

Kluczowy wpływ na przebieg osiadania oraz przepuszczalność gruntów ma dystrybucja ciśnienia

porowego wywołana obciążeniem ośrodka. Najbardziej miarodajne jest określenie tej charakterystyki przy założeniu ośrodka dwufazowego szkielet gruntowy – woda. Z tego względu badania konsolidacyjne przeprowadzono na pastach gruntowych stanowiących model fizyczny ośrodka dwufazowego. Homogenizacja past w znaczącym stopniu ogranicza wpływy teksturalno-strukturalne na zmienność zachowań badanego gruntu.

## 2. Charakterystyka badanych gruntów

Badania zostały przeprowadzone na paście gruntowej z glin polodowcowych kompleksu północnopolskiego z okolicy miejscowości Susz (powiat iławski, województwo warmińsko-mazurskie). W powiecie tym planowana jest budowa zakładu zagospodarowania odpadów wraz ze składowiskiem odpadów.

Badane grunty reprezentowane są przez gliny piaszczyste zwięzłe barwy ciemnoszarej o zróżnicowanej, w warunkach naturalnych, zawartości węgla wapnia. Głównymi składnikami badanych gruntów (Szczepański i in., 2011) są: kwarc i minerały nieaktywne termicznie (72-80%), węglany wraz z kalcylem w obrębie frakcji grubszych (12-18%), illit (6-11%), pobocznie także

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: s.kowalczyk@uw.edu.pl

kaolinit (1-2%) oraz w niewielkich ilościach substancja organiczna (0,1-0,2%), syderyt (0,3%). Wyniki oznaczeń podstawowych właściwości fizycznych badanych glin przedstawiono w tabeli 1.

### 3. Metodyka badań

#### 3.1. Metodyka przygotowania pasty

Materiał gruntowy o wilgotności powietrzno-suchej został zalany taką ilością wody, aby w efekcie jego wilgotność była około 1,5 razy większa od wilgotności odpowiadającej granicy płynności. Po rozmoknięciu, grunt był homogenizowany poprzez mieszanie ręczne lub mechaniczne. Po uzyskaniu jednorodnej makroskopowo pasty, wlana ona została do membrany gumowej w kształcie walca o przybliżonej średnicy 15 cm i 30 cm wysokości, umieszczonej w komorze do badań trójosiowych. Po napełnieniu komory wodą wytworzone zostało wewnątrz ciśnienie 100 kPa, a drenaż z dołu i z góry próbki został otwarty. W ten sposób pasta była konsolidowana w warunkach stałego obciążenia izotropowego przez około 1 miesiąc. Po tym czasie wycięto, ze wstępnie skonsolidowanego materiału, próbki do badań konsolidometrycznych.

#### 3.2. Metodyka badań w konsolidometrze

Program badawczy realizowano przy użyciu zestawu do badań konsolidometrycznych wyposażonego w komorę Bardena-Rowe'a oraz sterowniki ciśnienia i objętości. Hydrauliczna komora umożliwia badanie próbek o wysokości 32 mm i średnicy 76,4 mm.

Badania konsolidacyjne przeprowadzono z zastosowaniem systemu obciążenia CRL (*constant rate of loading*), stosując dla kolejnych badanych próbek trzy różne prędkości przyrostu obciążenia pionowego: 25, 50 i 100 kPa/h, i osiągając w ten sposób maksymalne naprężenie 1,9 MPa. W trakcie badań rejestrowano w funkcji czasu  $t$  [s] zmiany ciśnienia porowego w gruncie  $u$  [kPa] mierzone u podstawy próbki, przyrost naprężenia  $\sigma$  [kPa] oraz odkształcenie osiowe próbki  $\varepsilon$  [%].

W założonych przedziałach wzrostu naprężenia całkowitego wyznaczono wartości modułu ścisłości  $M_k$  oraz współczynnika konsolidacji  $c_v$ . Parametry te wyznaczano na podstawie następujących wzorów:

$$c_v = \frac{\Delta\sigma \cdot H^2}{2\Delta t \cdot u} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (1)$$

$$M_k = \frac{\Delta\sigma' \cdot H_{i-1}}{H_{i-1} - H_i} \quad [\text{kPa}] \quad (2)$$

$$\sigma' = \sigma - \frac{2}{3} \cdot u \quad [\text{kPa}] \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta\sigma$  jest analizowanym przyrostem naprężenia całkowitego,  $\Delta\sigma'$  jest przyrostem naprężenia efektywnego,  $H_{i-1}$  i  $H_i$  są długościami drogi drenażu (wysokość próbki) odpowiednio na początku i na końcu analizowanego przedziału naprężenia, a  $\Delta t$  jest czasem, w którym zrealizowany został analizowany przyrost naprężenia  $\Delta\sigma$ .

Określenie przepuszczalności  $k$  z badań konsolidacji oparte jest na zależnościach wynikających z teorii konsolidacji filtracyjnej i powiązane z parametrami określającymi ściśliwość i przebieg odkształcenia gruntu:

$$k = \frac{c_v \cdot \gamma_w}{M_k} \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

gdzie  $\gamma_w$  jest ciężarem objętościowym cieczy (wody) w przestrzeni porowej w kN/m<sup>3</sup>.

Charakterystykę filtracyjną ośrodka uzyskuje się dzięki bezpośredniemu związkowi pomiędzy współczynnikiem filtracji a prędkością konsolidacji. Przepływ, zachodzący na skutek przyrostu obciążenia, obejmuje wyłącznie wodę znajdującą się w przestrzeni porowej ośrodka. Znajomość wartości parametrów przepuszczalności na tle badań cech fizycznych, pozwala na określenie właściwości izolacyjnych danych gruntów.

### 4. Charakterystyka dystrybucji ciśnienia porowego

Parametrami charakteryzującymi rozkład ciśnienia wody w porach gruntu są wartości bezwzględne ciśnienia porowego  $u$  mierzone u podstawy jednostronnie drenowanej, konsolidowanej próbki oraz wartości względne określane jako tak zwany parametr ciśnienia wody w porach, który jest bezwymiarowy. Dla badań typu CL (*continuous loading*) zaproponowano (Kowalczyk, 2005, 2007; Dobak, 2007) oznaczenie tego parametru symbolem  $C_{CL}$ . Wyraża on stosunek wartości ciśnienia porowego  $u$  do całkowitego naprężenia osiowego  $\sigma$  działającego na grunt w danej chwili.

Tab. 1. Wybrane parametry fizyczne badanych gruntów

Parametr	Jednostka	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
Granica plastyczności*	[%]	9,8	10,9	10,4	0,36	3,4
Granica płynności*	[%]	18,3	21,8	20,6	1,00	4,9
Wskaźnik plastyczności*	[%]	8,2	11,3	10,2	0,95	9,3
Wilgotność pasty przed badaniem	[%]	16,3	17,1	16,6	0,37	0,02
Gęstość objętościowa pasty	[Mg/m <sup>3</sup> ]	2,17	2,19	2,18	0,01	0,004

\* parametry przedstawione za Szczepański i in. (2011)

$$C_{CL} = \frac{u}{\sigma} \quad [-] \quad (5)$$

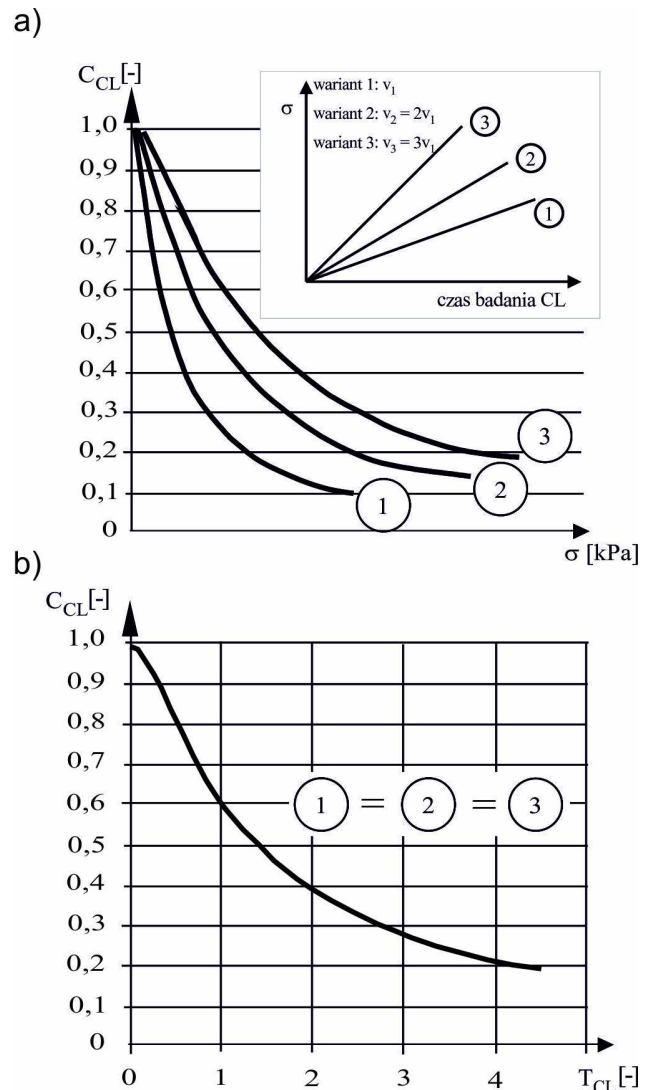
Teoretycznie wartości ciśnienia porowego powstające podczas konsolidacji CL powinny być proporcjonalne do stosowanej prędkości obciążenia gruntu. Wskazują na to modelowe obliczenia przeprowadzone przez Dobak (1999). W związku z rozpraszaniem ciśnienia porowego w toku konsolidacji, wartość parametru  $C_{CL}$  maleje ze wzrostem naprężenia w tempie uzależnionym od zastosowanej prędkości obciążenia oraz zmian zdolności filtracyjnych badanego gruntu (rys. 1a). Spadek wartości  $C_{CL}$  w trakcie badania powoduje, że wraz z rozwojem procesu filtracji coraz większą rolę w przeniesieniu naprężenia odgrywa szkielet gruntowy.

Parametr ciśnienia wody w porach można uniezależnić w analizach od prędkości badania CL poprzez odniesienie go, zamiast do naprężenia czy też czasu badania, do względnego czasu konsolidacji  $T_{CL}$  (rys. 1b). Parametr ten (Dobak, 1999, 2000) określa stosunek aktualnego czasu  $t$  liczonego od początku przykładania stale rosnącego obciążenia do zdolności konsolidacyjnych ośrodka wyrażonych poprzez współczynnik konsolidacji (a zatem i filtracji) oraz aktualną drogę drenażu  $H$ . Bezwymiarowy parametr  $T_{CL}$  jest określany na podstawie wzoru:

$$T_{CL} = \frac{t \cdot c_v}{H^2} \quad [-] \quad (6)$$

Podobnie jak bezwymiarowy czynnik czasu  $T$  wprowadzony w klasycznych analizach konsolidacji typu IL (*incremental loading*), parametr  $T_{CL}$  charakteryzować może zaawansowanie procesu w odmiennych warunkach (CL) stale wzrastającego obciążenia.

Czynnikiem, który wpływać może w pewnych warunkach na dystrybucję ciśnienia porowego jest kontrakcja, czyli dławienie filtracyjne (Dobak, 1999; Kowalczyk, 2007). Zjawisko to nie jest jeszcze wystarczająco scharakteryzowane w mechanice gruntów, chociaż w literaturze opisano efekty zmniejszenia przepuszczalności ośrodka przy wyższych wartościach ciśnienia wody w porach (Nash i in., 1992). Wyraża się to opóźnieniem rozpraszania ciśnienia porowego w toku badań konsolidacyjnych obserwowanym przy wyższych prędkościach oraz wartościach obciążenia. Efekt ten sugeruje, że rozpraszanie ciśnienia porowego jest utrudnione przy jego wyższych wartościach. Jest to pewna analogia do znanego w hydraulice procesu dławienia (kontrakcji) przepływu (Czertwertyński, 1958). Istota fizyczna przepuszczalności w gruntach spoistych jest oczywiście bardziej złożona, natomiast przy zmniejszaniu rozmiarów przestrzeni porowej można zauważyć istotne zmiany współczynnika filtracji, podobnie jak współczynnika wydatku w eksperymentach hydraulicznych (Dobak 1999). Efekt ten rzutuje na wartości parametrów przepuszczalności uzyskiwane przy różnych zadanych prędkościach obciążenia.



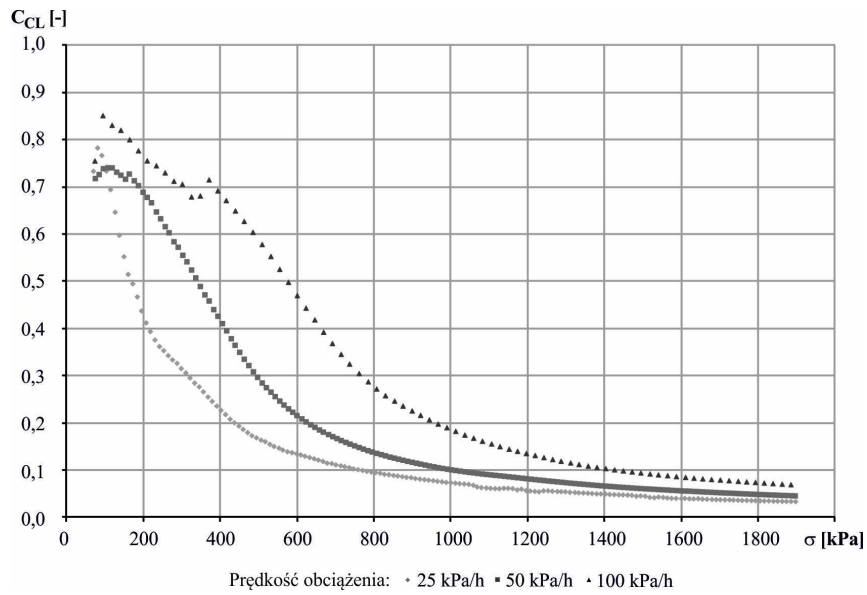
Rys. 1. Teoretyczne zmienności parametru ciśnienia wody w porach w warunkach liniowego przyrostu naprężenia (Dobak, 1999)

## 5. Analiza wyników badań

W badaniach CRL wzrost ciśnienia wody w porach jest pośrednio zależny od zastosowanej prędkości obciążenia. Im jest ona wyższa, tym wygenerowane wartości  $u$  będą wyższe dla tego samego rodzaju gruntu. Wyższe wartości ciśnienia porowego powodują wyższe wartości parametru ciśnienia wody w porach przy takiej samej wartości naprężenia (rys. 2).

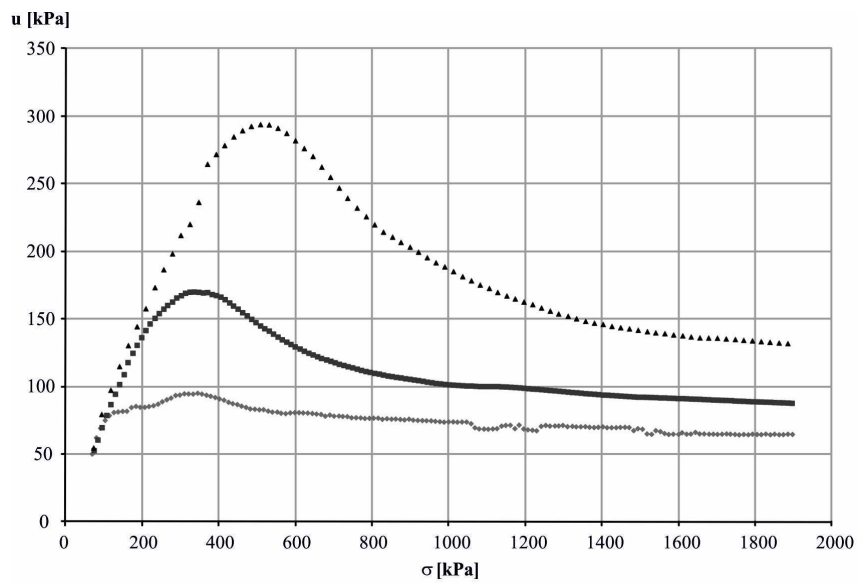
W przeprowadzonych badaniach ciśnienie porowe nie wzrasta w sposób ciągły w funkcji naprężenia albo czasu. W przebiegu badania wyróżniono trzy etapy: wzrostu aż do osiągnięcia wartości maksymalnej  $u$ , następującego później spadku oraz *quasi* stabilizacji ciśnienia porowego.

Zaznaczają się jednocześnie tutaj wyraźne zależności zachowań od zastosowanej prędkości obciążenia (rys. 3). W badaniu, w którym  $\sigma$  wzrasta bardzo wolno (25 kPa/h), wartość  $u_{max}$  osiągnięta jest najwcześniej, a późniejszy spadek  $u$  jest nieznaczny i generalnie obserwuje się *quasi* stabilizację ciśnienia porowego sygnalizowaną zarówno

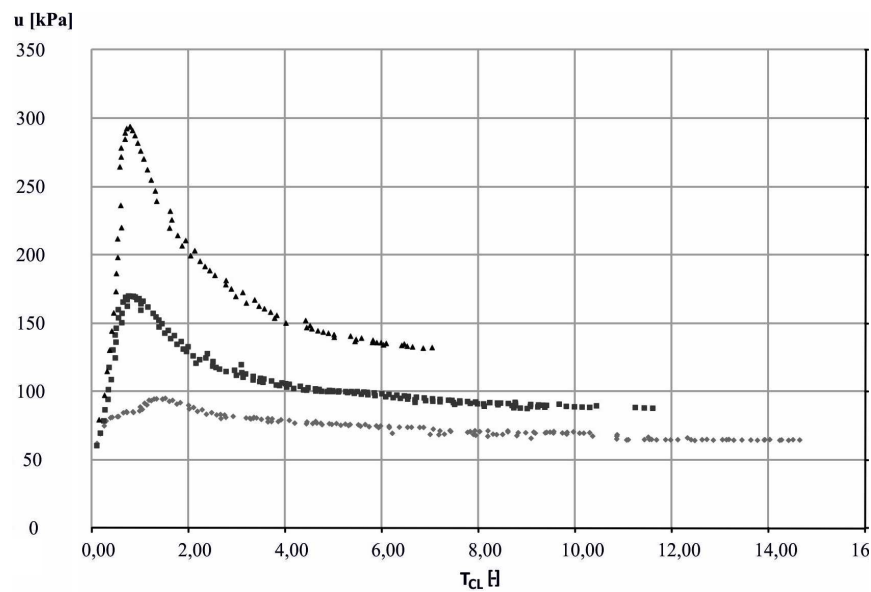


Rys. 2. Zmiany parametru ciśnienia wody w porach w funkcji naprężenia

a)



b)



Rys. 3. Rozkład ciśnienia porowego w funkcji: a) naprężenia, b) względnego czasu konsolidacji

we wczesnych pracach (Vu Cao Minh, 1976), jak i uzyskiwaną z obliczeń modelowych przy stałej charakterystyce parametrów konsolidacji (Dobak, 1999).

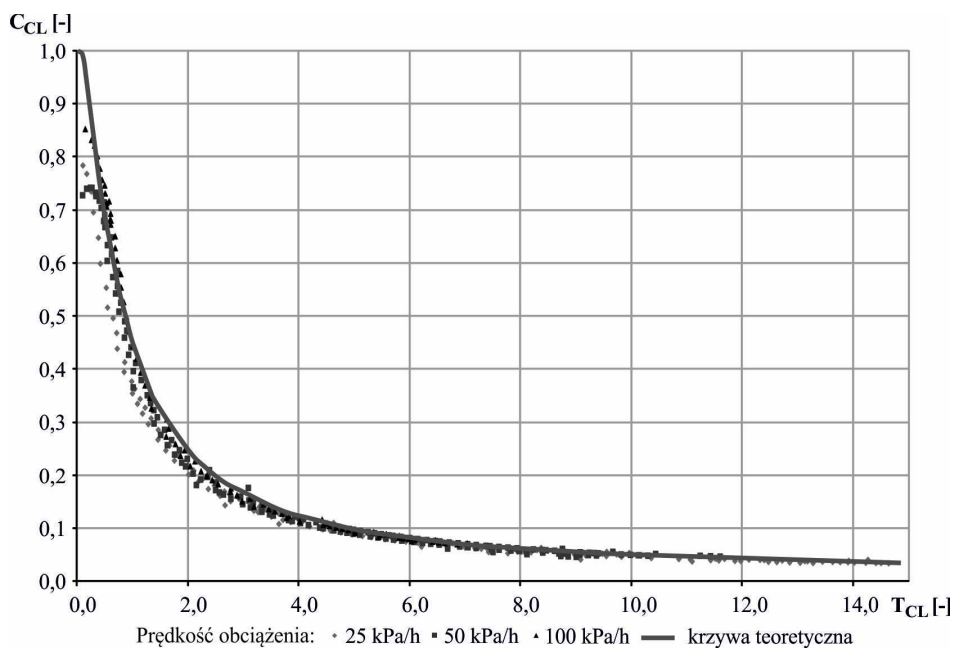
Podwojenie prędkości obciążenia skutkowało blisko dwukrotnym wzrostem wartości  $u_{max}$  osiąganego jednak przy wyższej wartości obciążenia. W badaniu tym następuje jednak później wyraźny spadek ciśnienia porowego, aż do osiągnięcia jego *quasi* – stabilizacji na poziomie około 2/3 wartości  $u_{max}$ .

Zastosowanie kolejnego podwojenia prędkości obciążenia spowodowało wzrost wartości  $u_{max}$  o kolejne 40% osiągnięte przy proporcjonalnie większym naprężeniu. Spadek ciśnienia porowego trwał dłużej i był większy (ponad 50% wartości  $u_{max}$ ). Wzrost ciśnienia porowego w początkowym etapie realizowany był dla analizowanych trzech prędkości obciążenia początkowo po jednej ścieżce  $u - \sigma$ , która rozwijała się w kolejnych badaniach o szybszym wymuszeniu wzdłuż linii o nachyleniu  $u/\sigma$  zbliżonym do 1,7.

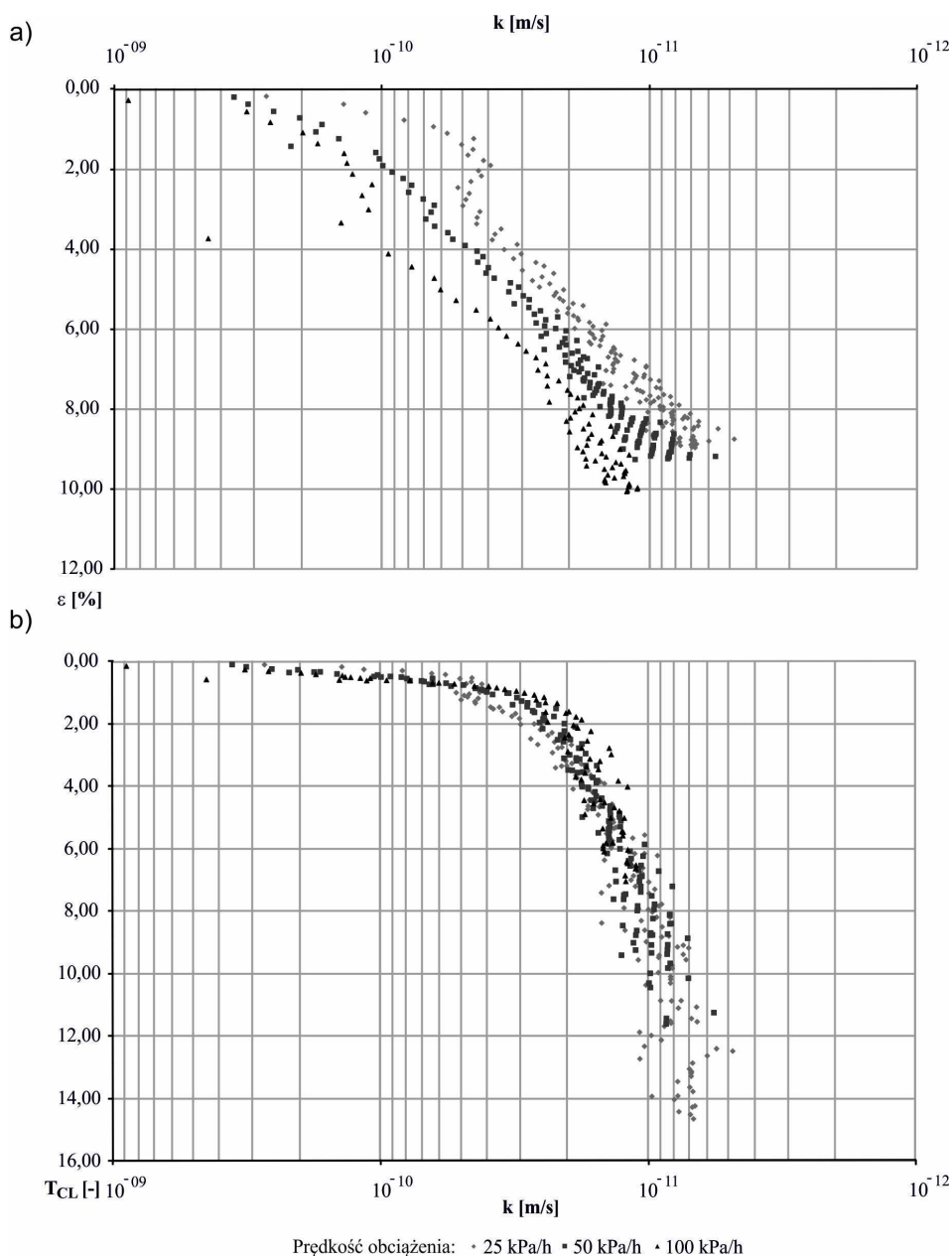
Przedstawienie opisywanych zależności w układzie  $u - T_{CL}$  pokazuje, że osiągnięcie wartości  $u_{max}$  następuje dla  $T_{CL}$  mniejszego od 2, a więc w niestabilnej fazie badania CRL. W fazie ustalonej obserwujemy zatem *quasi* stabilizację lub wyraźne spadki wartości ciśnienia porowego. Brak kontynuacji tendencji wzrostowej ciśnienia porowego świadczyć więc może o zmianach przepuszczalności ośrodka gruntowego wymuszonych przez osiąganie wyższych wartości ciśnienia porowego w niestabilnym układzie strukturalnym past gruntowych. W prezentowanych w artykule badaniach, ciśnienie porowe zachowuje się jak w badaniach typu IL a nie CL – po osiągnięciu „pewnej” wartości ulega rozpraszaniu (rys. 3). Może to świadczyć o stworzeniu się uprzywilejowanych dróg migracji w gruncie o „słabej” strukturze na skutek znacznego obciążenia.

W celu oceny miarodajności uzyskanych wyników przeprowadzono test zgodności z rozkładem teoretycznym charakterystyki parametru ciśnienia wody w porach CCL w funkcji względnego czasu konsolidacji  $T_{CL}$  (rys. 4). Wiarygodne parametry otrzymuje się zgodnie z rozwiązaniami teoretycznymi, gdy badanie znajduje się w fazie ustalonej procesu. W badaniu CRL jednocześnie spełnione wtedy być muszą dwa warunki: względny czas konsolidacji  $T_{CL} > 2$  oraz parametr ciśnienia wody w porach  $CCL < 0,24$ . W przeprowadzonych badaniach, krzywe CCL -  $T_{CL}$  bardzo dobrze korespondują z obliczoną krzywą teoretyczną (rys. 4).

Przepuszczalność gruntów określana za pomocą badań konsolidometrycznych jest zależna od omówionych wyżej rozkładów ciśnienia wody w porach, naprężenia działającego na grunt oraz od postępującego odkształcenia jednoosiowego gruntu, czyli od zmian jego porowatości. Wraz ze wzrostem obciążenia oraz malejącą porowatością oczekuje się zmniejszania się wartości współczynnika filtracji. Jak pokazują uzyskane wyniki badań (rys. 5), zmienność współczynnika filtracji jest znacząca i sięga od  $10^{-9}$  do  $10^{-12}$ . Doświadczalne charakterystyki współczynnika filtracji wykazują *quasi* logarytmiczne zmniejszenie w funkcji odkształcenia (a więc pośrednio porowatości). Jednocześnie wyniki badań, w których uzyskiwano wyższe ciśnienia porowe, dokumentują w tych warunkach większą przepuszczalność ośrodka gruntowego. Analizy zmienności  $k$  w funkcji parametru  $T_{CL}$  ilustrują wyraźną zmianę charakteru wykresu  $k - T_{CL}$  w zależności od fazy badania. Jeżeli rozpatruje się współczynnik filtracji dla wartości  $T_{CL} > 2$  (zgodnie z założeniami teoretycznymi wówczas badanie jest w fazie ustalonej a otrzymane wyniki są miarodajne) to zmienność współczynnika filtracji spada do jednego rzędu wielkości.



Rys. 4. Rozkład parametru ciśnienia wody w porach na tle krzywej teoretycznej



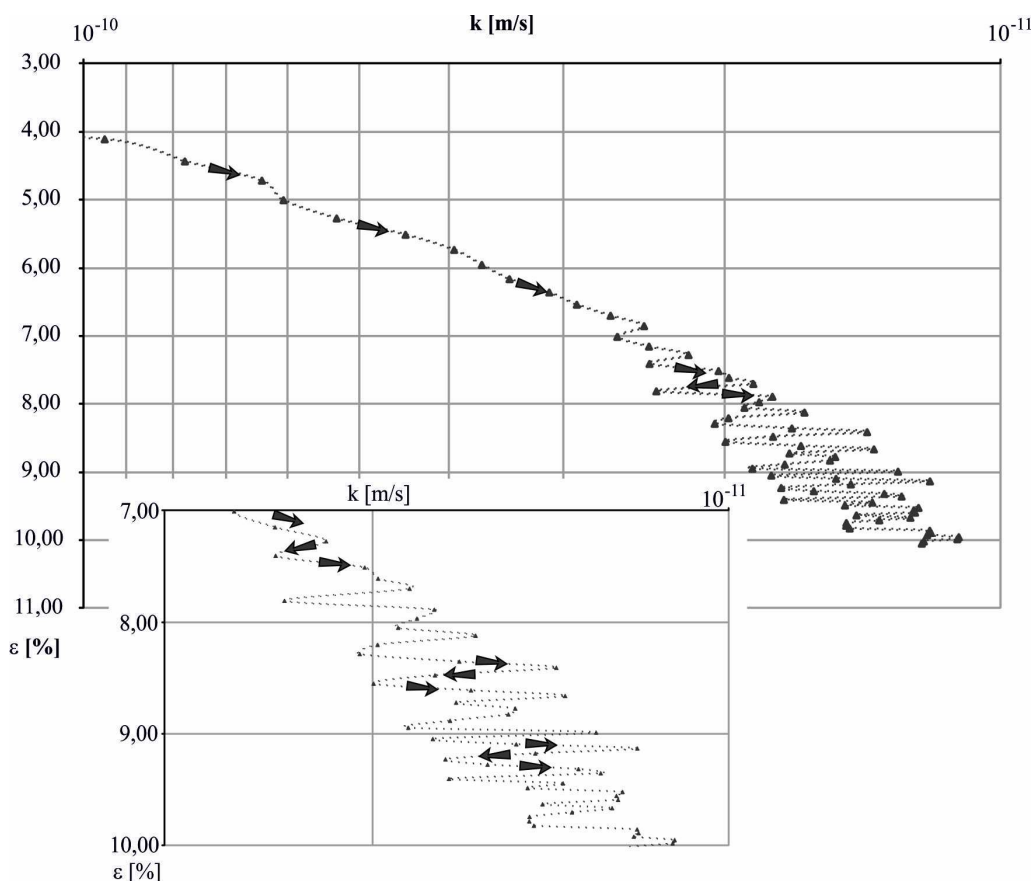
Rys. 5. Wyniki współczynnika filtracji w zależności od: a) odkształcenia, b) względnego czasu konsolidacji

Analiza wykresów  $k - \varepsilon$  pokazuje jednocześnie charakter zmienności w zaawansowanym etapie procesu, który wiązać można z rolą dławienia filtracyjnego. Efekty tego zjawiska zaobserwowano jako skokowo występujące zmiany współczynnika filtracji z zachowaniem generalnego trendu zmniejszania przepuszczalności, określanej w toku badania konsolidacyjnego (rys. 6). Wartości współczynnika filtracji maleją, po czym następuje krótkotrwałe zwiększenie wartości współczynnika  $k$  i dalej znów postępujące jego zmniejszanie, aż do kolejnego powtórzenia opisywanej „pętli”. W obrębie jednego cyklu „pętli” można wyróżnić trzy etapy: 1 – zmniejszanie się przepuszczalności gruntu pod wpływem przyrostu obciążenia; 2 – narastanie ciśnienia porowego wraz z pozornym wzrostem współczynnika filtracji (zasadnicza część efektu dławienia); 3 – znalezienie przez wodę porową drogi migracji, po czym ponownie następuje etap zmniejszania przepuszczalności

pod wpływem ciągle rosnącego obciążenia.

Efekty skokowych zmian parametrów filtracyjnych w toku konsolidacji obserwowano także w badaniach glin zwałowych o nienaruszonej strukturze (Bogdańska i in., 1993). Wskazuje to zatem na istotną rolę ciśnienia porowego w kształtowaniu zarówno czasowych utrudnień przepływu, jak i zmian przepuszczalności ośrodka wymuszanych zapewne przez zmiany strukturalne w gruncie w pojedynczej próbce po przekroczeniu pewnego progowego odkształcenia (Kowalczyk, 2007). Wartość „progowego” odkształcenia dla analizowanych próbek past gruntowych wynosi kilka procent i jest zależna od zastosowanej prędkości obciążenia. Dla wyższych prędkości obciążenia zjawisko to zachodzi przy niższej porowatości.





Rys. 6. Zjawisko dławienia przepływu w badaniu CRL dla próbki obciążanej z prędkością 100 kPa/h

## 6. Wnioski

1. Badania konsolidacji prowadzone na pastach pokazują bardzo wyraźną zależność uzyskanych charakterystyk zmian ciśnienia porowego oraz warunków przepuszczalności od zastosowanych prędkości obciążenia. W przebiegu badań wyróżniono etapy wzrostu, spadku oraz tendencję do stabilizacji ciśnienia porowego, w nawiązaniu do zastosowanych prędkości obciążenia oraz faz: nieustalonej i ustalonej w procesie konsolidacji typu CL.
2. Uzyskane wyniki wskazują na istotną rolę ciśnienia porowego w modyfikowaniu struktury i przepuszczalności past gruntowych. Jednocześnie stwierdzono dobrą zgodność danych doświadczalnych z bezwymiarowymi charakterystykami teoretycznymi procesu. Pozwala to łatwo wyróżnić fazę nieustaloną oraz ustaloną badania i oceniać miarodajność otrzymanych wyników doświadczalnych.
3. Wrażliwość past gruntowych na charakter wymuszeń wyrażony prędkością obciążenia wskazuje na potrzebę doboru programu badań laboratoryjnych na podstawie starannej analizy warunków występujących w rzeczywistym podłożu gruntowym.

## Literatura

- Bogdańska J., Dobak P., Pinińska J. (1993). Określenie parametrów zmienności cech mechanicznych glin zwałowych na trasie metra warszawskiego. W: *Materiały X Ogólnopolskiej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania*, Warszawa 1993, 195-202.
- Czetwertyński E. (1958). *Hydraulika i Hydromechanika*. PWN, Warszawa.
- Dobak P. (1999). Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. *Wyd. IGSMiE PAN*, Kraków.
- Dobak P. (2000). Kryteria zgodności przebiegu badań IL oraz CL z teorią konsolidacji filtracyjnej. W: *Materiały Sesji Naukowej „Geotechnika w budownictwie i inżynierii środowiska”*; Gdańsk 2000, 237-244.
- Dobak P. (2003). Loading velocity in consolidation analysis. *Geological Quarterly*, Vol. 47, No 1, 13-20.
- Dobak P. (2007). Określanie przepuszczalności gruntów spoistych w badaniach konsolidacji z ciągłym przyrostem obciążenia. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 55, No 2, 126-132.
- Kowalczyk S. (2005). Ocena doświadczalnych rozkładów ciśnienia porowego w badaniach konsolidometrycznych typu CL. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 53, No 2, 162-167.
- Kowalczyk S. (2007). Zmiany właściwości filtracyjnych w procesie konsolidacji zielonych ilów beidelitowych z rowu Kleszczowa. Praca doktorska. *Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii*, Warszawa.
- Nash D. F. T., Sills G. C., Davison L. R. (1992). One-dimensional consolidation testing of soft clay from Bothkennar. *Geotechnique*, Vol. 42, No 2, 241-256.
- Szczepański T., Wójcik E., Gawriuczenkow I. (2011). Zmienność współczynnika filtracji w zależności od spadku

hydraulicznego na przykładzie badań glin z miejscowości Różanka. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, Tom 446, Nr 2, 417-422.

Vu Cao Minh (1976). Jednoosiowa konsolidacja gruntów z uwzględnieniem pełzania. Praca doktorska. *Uniwersytet Warszawski*, Wydział Geologii, Warszawa.

**CHARACTERISTICS OF PORE PRESSURE  
DISTRIBUTION DURING CONSOLIDATION TESTS  
OF SOIL PASTE OF GLACIAL TILLS FROM  
NORTHERN POLAND**

**Abstract:** The question of pore pressure distribution during consolidation tests at constant rate of loading (CRL) was presented in the paper. The tests were carried out on soil paste

of glacial tills of Wisła glacial period obtained from the area of Susz in Pojezierze Iławskie. The disturbed (homogenous) soil paste of natural particle size distribution was prepared in such a way to obtain biphasic – saturated soil. The chosen method allowed comparing the obtained test results with theoretical model of pore pressure changes during linear incremental loading. Various load rates were used so that the influence of the rate on pore pressure distribution could be presented. The research on variability of pore pressure under various loading conditions is crucial in developing permeability-consolidation parameters investigation methods.

Pracę wykonano na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w ramach grantu o nr rej.: N N525 254740