

## ANALIZA WPLYWU RODZAJU OBCIĄŻENIA NA ODKSZTAŁCALNOŚĆ PODŁOŻA SŁABONOŚNEGO

Edyta MALINOWSKA\*, Wojciech SAS, Alojzy SZYMAŃSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

**Streszczenie:** Odkształcalność podłoża słabonośnego jest trudna do prognozowania ze względu na znaczące, nieliniowe zmiany ośrodka gruntowego pod obciążeniem konstrukcją inżynierską. Szczególnie istotne jest dokładne określenie wartości i zakresu osiadań podłoża organicznego, ze względu na małe wartości edometrycznego modułu ścisłości i związaną z tym dużą początkową porowatość, znacząco malejącą po obciążeniu. Analiza wpływu rodzaju obciążenia na odkształcalność podłoża słabonośnego została oparta na porównaniu odkształcalności torfów poprzez zadanie różnych wielkości obciążenia, przy różnych rodzajach obciążenia: *free strain loading* i *equal strain loading*. Wynikiem nierównomiernego odkształcenia powierzchni słabonośnego podłoża organicznego przy nierównomiernym nacisku w stosunku do równomiernego obciążenia może być niejednorodność ośrodka porowatego i jego znacząca odkształcalność. Analiza wpływu rodzaju obciążenia na odkształcalność podłoża słabonośnego umożliwia wykonanie dokładniejszego modelu w celu określenia współpracy budowli z podłożem gruntowym.

*Słowa kluczowe:* podłoże słabonośne, nierównomierne i równomierne obciążenie, odkształcenie.

### 1. Wprowadzenie

W celu dokonania klasyfikacji gruntu, oceny jego przydatności jako podłoża budowli oraz oceny wielkości odkształceń podłoża i stateczności budowli konieczna jest znajomość podstawowych parametrów geotechnicznych. Charakterystyki geotechniczne gruntów organicznych nie są dostatecznie poznane ze względu na ich różnorodność i specyfikę zachowania się pod obciążeniem. Stosunkowo najlepiej znane są właściwości torfów, gdyż one najczęściej występują w podłożu obiektów budowlanych. Geotechnicy badający specyfikę gruntów organicznych są zgodni co do tego, że grunty te charakteryzują się: bardzo niskimi parametrami wytrzymałościowymi, wysoką ścisłością i wilgotnością oraz udziałem włókna roślinnego w strukturze (Larsson, 1986; Lechowicz i Szymański, 1984; Wolski, 1977). Stąd też, nie zawsze można w przypadku gruntów organicznych ściśle stosować metody badań określone normami geotechnicznymi, opracowane głównie z myślą o gruntach mineralnych, lecz trzeba je dostosowywać do specyfiki gruntów organicznych.

W gruncie obciążonym powstaje stan naprężenia powodujący jego odkształcanie, którego wartość zależy od parametrów ścisłości gruntu i wielkości obciążenia. Natomiast przebieg odkształcenia w czasie uzależniony

jest od przepuszczalności gruntu i warunków odpływu oraz od właściwości lepkich gruntu warunkujących proces pełzania szkieletu. Zasadniczą część osiadań podłoża stanowią odkształcenia konsolidacyjne. Przebieg procesu odkształcenia gruntu zależy głównie od przyrostu naprężenia efektywnego w podłożu, czyli od prędkości rozpraszania nadwyżki ciśnienia porowego.

Zastosowanie w analizie konsolidacji gruntów organicznych tak zwanych „dużych przemieszczeń” znacznie komplikuje numeryczną analizę procesu ze względu na nieliniowość zarówno związków geometrycznych, jak i równań konstytutywnych. Dlatego też dla podłoża o małej miąższości (< 4m) i równomiernym obciążeniu możliwe jest wykorzystanie do prognozy przebiegu odkształceń równań klasycznej teorii konsolidacji, przyjmującej tak zwane „małe przemieszczenia”, to jest stałą miąższość konsolidowanych gruntów, pod warunkiem uwzględnienia zmienności parametrów gruntowych w procesie odkształcenia. Można więc sądzić, że obliczenia przebiegu osiadań i rozpraszania nadwyżki ciśnienia wody w porach w podłożu pod osiłą nasypu mogą być przeprowadzone przy użyciu jednowymiarowej teorii konsolidacji. Natomiast w przypadku podłoża o większej miąższości i nierównomiernym obciążeniu należy dążyć do stosowania metod wykorzystujących współrzędne

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: edyta\_malinowska@sggw.pl

konwekcyjne, pozwalające na uwzględnienie zarówno zmienności parametrów gruntowych, jak też zmianę geometrii podłoża w czasie.

## 2. Metodyka badania odkształcalności podłoża słabonośnego przy różnorodnym obciążeniu

W celu określenia wpływu rodzaju obciążenia na odkształcalność podłoża słabonośnego wykorzystano badania w komorze Rowe'a, która umożliwia rozszerzenie badań konsolidacji nie tylko o jej anizotropię, ale także o zmienność warunków obciążenia (Rowe i Barden, 1966). Laboratoryjne badania zostały przeprowadzone na próbkach torfu o nie naruszonej strukturze, pobranych z obiektu doświadczalnego „Kampus SGGW” (tab. 1).

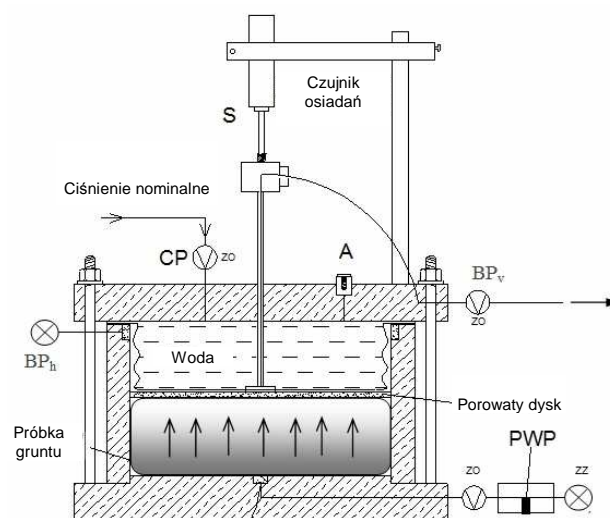
Dwie serie badań dla powtarzalnych próbek słabonośnego gruntu organicznego o początkowej wysokości 30,0 mm i średnicy 76,2 mm, wykonano dla dwóch różnych schematów obciążenia, to jest swobodnego nacisku (*free stain*) i równomiernego nacisku (*equal stain*).

Tab. 1. Właściwości fizyczne torfów pobranych z obiektu doświadczalnego „Kampus SGGW”

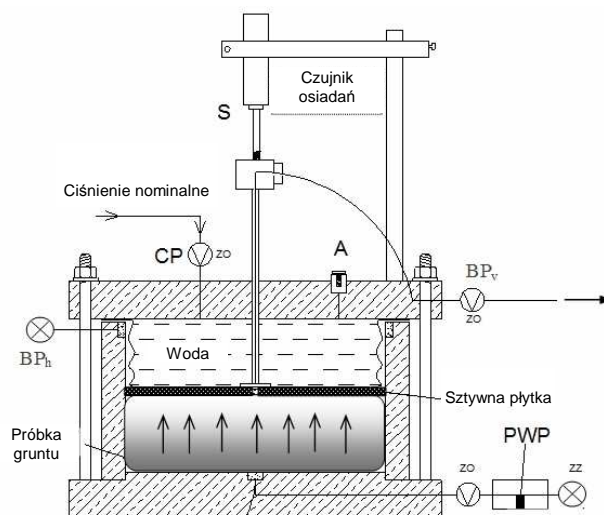
Właściwości fizyczne	„Kampus SGGW”
Wilgotność $w_n$ [%]	385
Gęstość właściwa $\rho_s$ [ $t/m^3$ ]	15
Gęstość objętościowa $\rho$ [ $t/m^3$ ]	10–12
Gęstość objętościowa szkieletu $\rho_d$ [ $t/m^3$ ]	2,5
Zawartość części organicznych $I_{om}$ [%]	78
Stopień rozkładu $R$ [%]	65
Porowatość $n$ [–]	0,8
Początkowy wskaźnik porowatości $e_0$ [–]	4,0

Przy swobodnym nacisku obciążenie zadawane jest na próbkę za pomocą gumowej membrany, a pomiędzy próbką i membraną umieszczony jest elastyczny porowaty dysk (rys. 1). W metodzie równomiernego nacisku obciążenie przenoszone jest poprzez sztywną płytkę, która utrzymuje równą powierzchnię próbki – rysunek 2 (Malinowska i in., 2013).

W celu wykonania analizy wpływu rodzaju obciążenia na odkształcalność podłoża słabonośnego wykonano badania konsolidacji z pojedynczym pionowym drenażem.



Rys. 1. Schemat do badania odkształcalności gruntów w komorze Rowe'a przy swobodnym obciążeniu i pionowym pojedynczym drenażu (Malinowska i in., 2013): zo – zawór otwarty, zz – zawór zamknięty, A – odpowietrzanie, PWP – pomiar ciśnienia wody w porach, BP – ciśnienie wyrównawcze, CP – ciśnienie „obciążające”, S – czujnik przemieszczeń

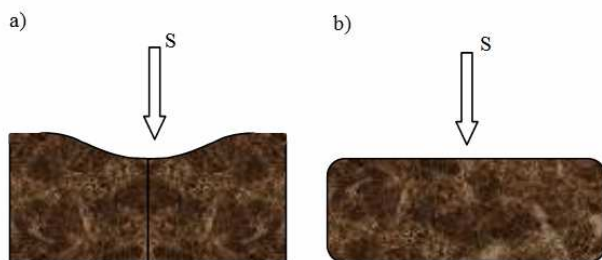


Rys. 2. Schemat do badania odkształcalności gruntów w komorze Rowe'a przy równomiernym obciążeniu i pionowym pojedynczym drenażu (Malinowska i in., 2013): zo – zawór otwarty, zz – zawór zamknięty, A – odpowietrzanie, PWP – pomiar ciśnienia wody w porach, BP – ciśnienie wyrównawcze, CP – ciśnienie „obciążające”, S – czujnik przemieszczeń

## 3. Wyniki badań odkształceniowych słabonośnego podłoża

Powierzchnia odkształcenia słabonośnego podłoża pod obciążeniem swobodnym naciskiem i nierównomiernym naciskiem różni się znacząco (rys. 3).

Badania zostały przeprowadzone przy obciążeniu: 80, 100, 220 i 380 kPa oraz ciśnieniu wyrównawczym równym 60 kPa, co daje następujące wartości naprężeń efektywnych: 20, 40, 80 i 160 kPa.



Rys. 3. Obraz powierzchni odkształcenia słabonośnego podłoża (S – pomiar osiadania): a) pod obciążeniem swobodnym naciskiem, b) pod obciążeniem nierównomiernym naciskiem

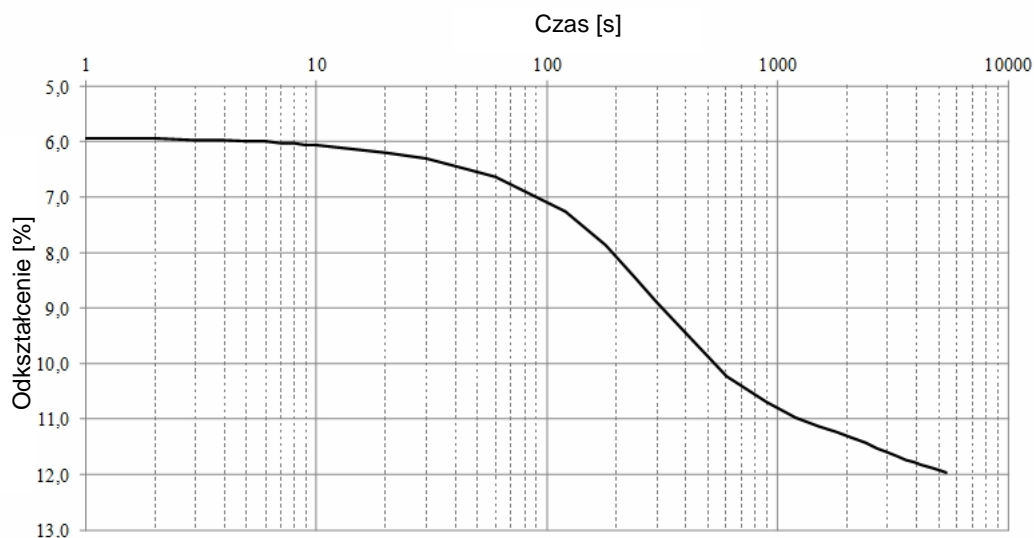
Wartości odkształceń nie różnią się znacząco dla różnych rodzajów obciążeń, co pokazano na rysunkach 4-7.

Wyniki badań odkształcalności podłoża słabonośnego pod swobodnym obciążeniem, które może być reprezentowane przez nasyp oraz pod równomiernym obciążeniem, które może być przekazywane przez fundament sztywny, zostały przedstawione w tabeli 2.

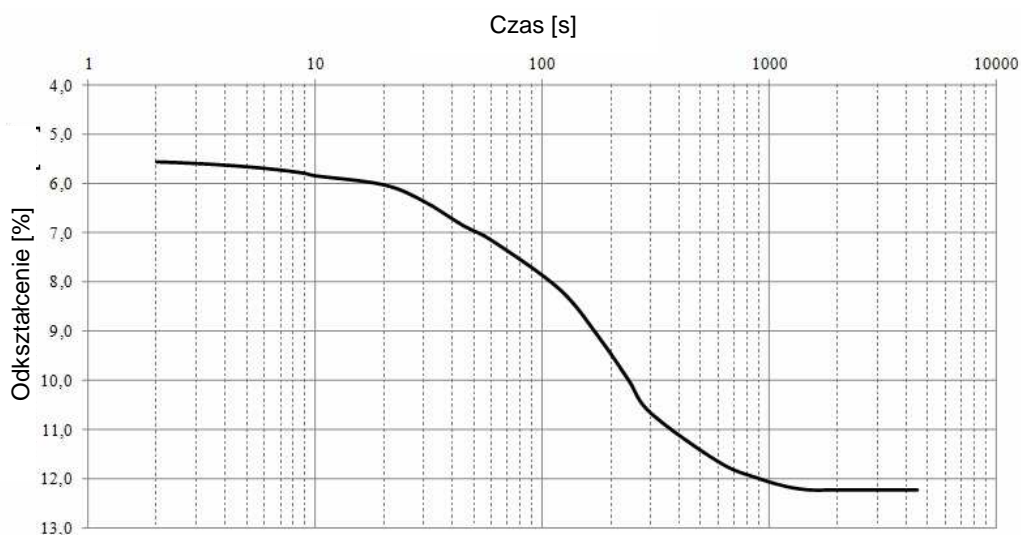
Wyniki pomiarów rozpraszania się nadwyżki ciśnienia wody w porach wskazują na przyśpieszony proces konsolidacji w przypadku zastosowania równomiernego obciążenia próbki, co pokazano na rysunkach 8-11.

Tab. 2. Wyniki badań odkształcalności podłoża słabonośnego

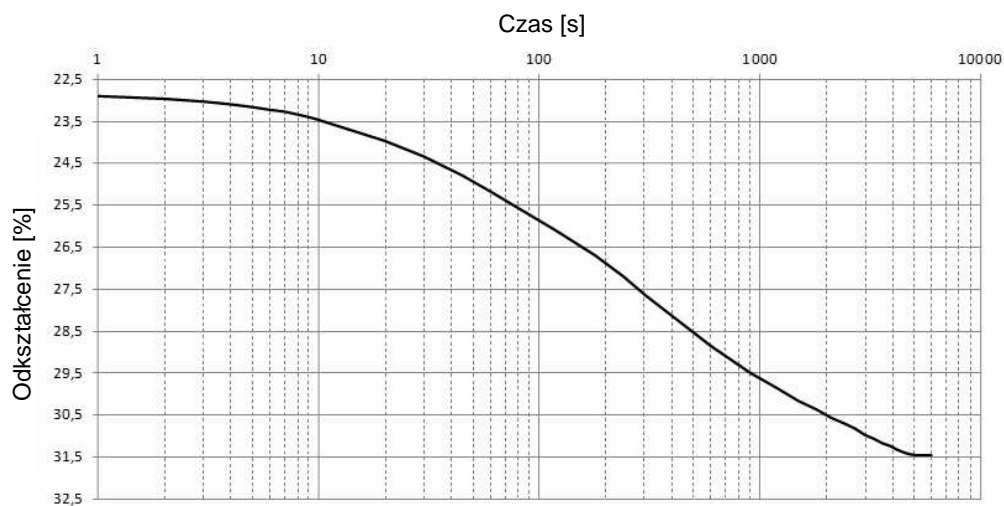
Obciążenie [kPa]	Naprężenie efektywne [kPa]	Wartość osiadania [mm]	Wartość odkształcenia [%]
<i>Badania odkształcalności przy swobodnym obciążeniu (Free strain loading)</i>			
80	20	1,64	5,5
100	40	3,59	11,9
140	80	6,29	20,9
220	160	9,44	31,4
380	320	12,64	42,1
<i>Badania odkształcalności przy równomiernym obciążeniu (Equal strain loading)</i>			
80	20	1,66	5,5
100	40	3,66	12,2
140	80	6,27	20,9
220	160	9,96	33,0
380	320	13,14	43,8



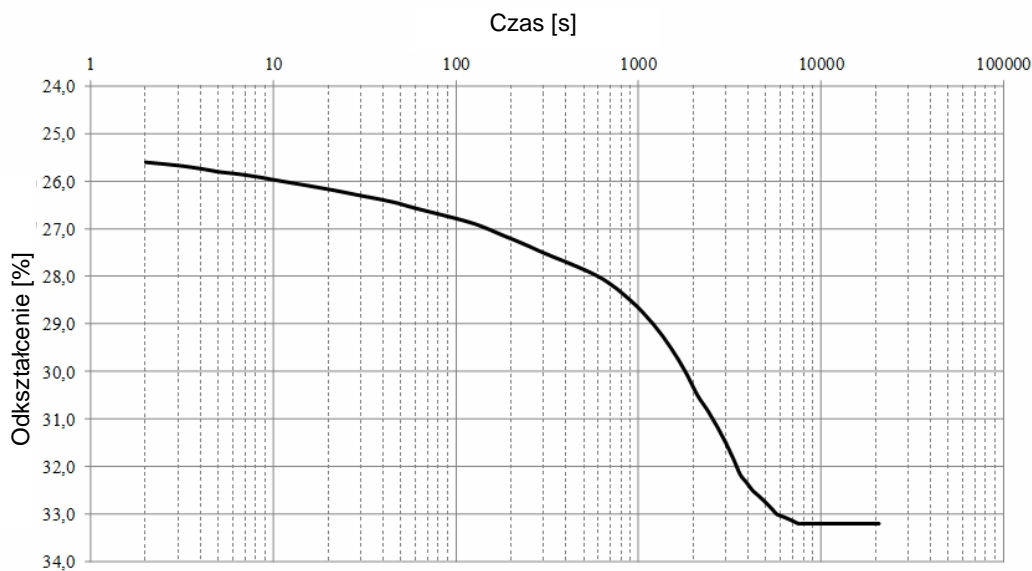
Rys. 4. Wartość odkształcenia dla badania przy swobodnym obciążeniu 100 kPa



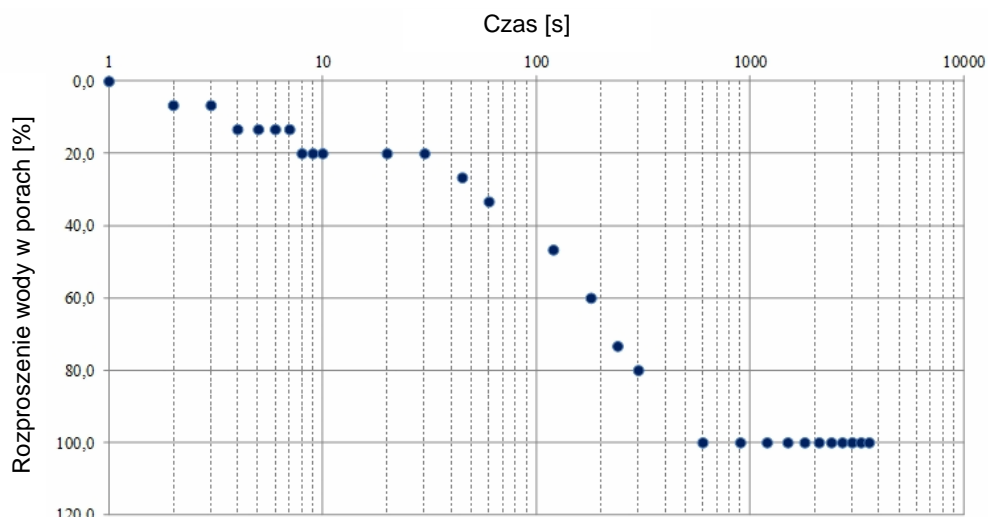
Rys. 5. Wartość odształcenia dla badania przy równomiernym obciążeniu 100 kPa



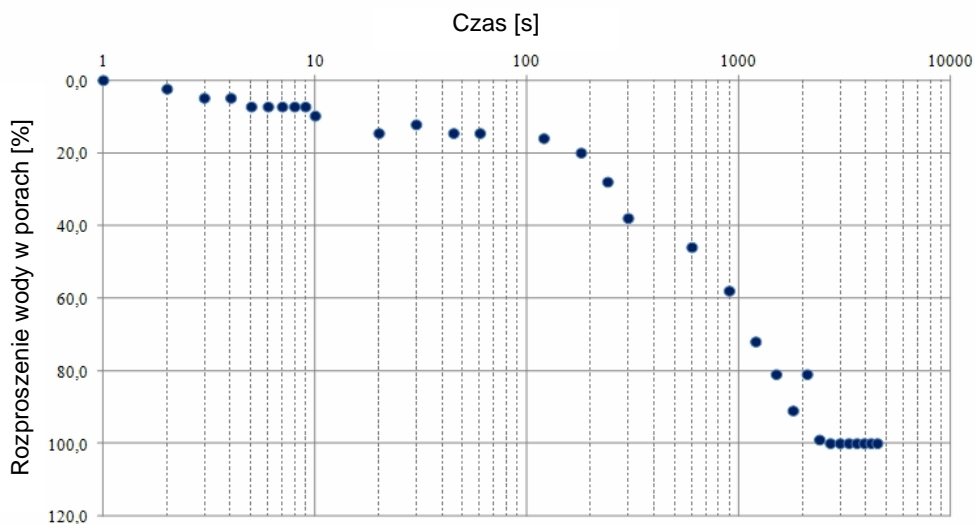
Rys. 6. Wartość odształcenia dla badania przy swobodnym obciążeniu 220 kPa



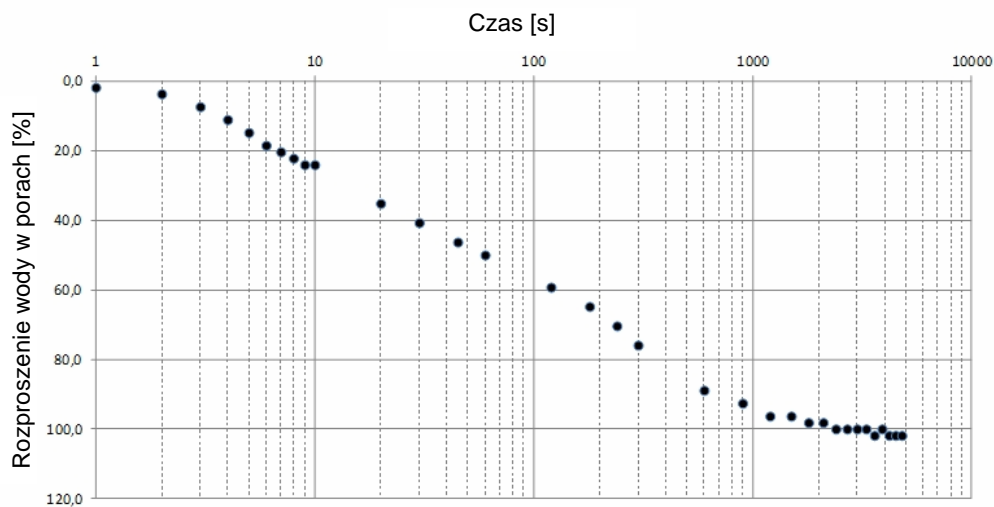
Rys. 7. Wartość odształcenia dla badania przy równomiernym obciążeniu 220 kPa



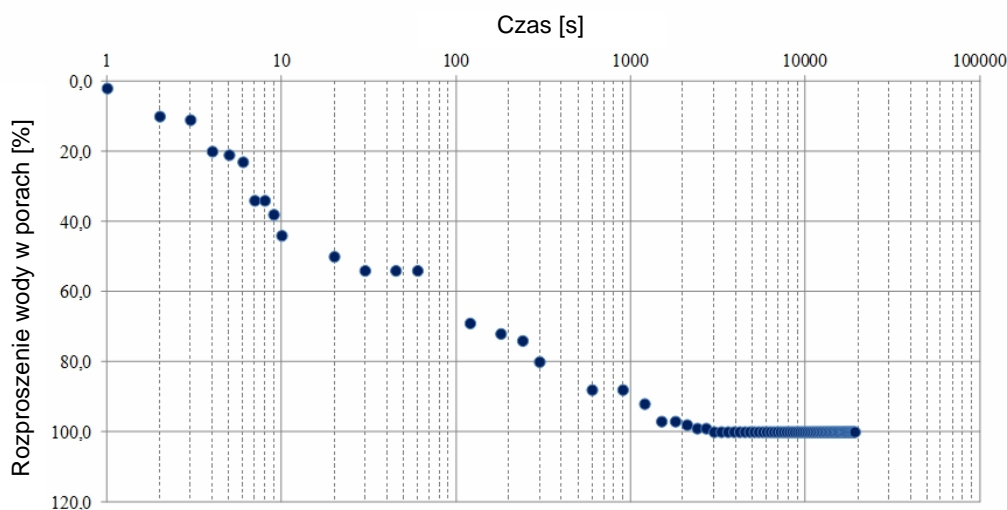
Rys. 8. Rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach przy swobodnym obciążeniu 100 kPa



Rys. 9. Rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach przy równomiernym obciążeniu 100 kPa



Rys. 10. Rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach przy swobodnym obciążeniu 220 kPa



Rys. 11. Rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach przy równomiernym obciążeniu 220 kPa

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy było zbadanie wpływu rodzaju obciążenia na odkształcalność podłoża słabonośnego. Dla potrzeb przeprowadzenia analizy wybrano ośrodek gruntowy o dużych wartościach odkształceń – torf. Do badań zastosowano komorę Rowe'a, w której możliwy jest pomiar odkształceń w warunkach anizotropowego drenażu przy różnych rodzajach obciążeń. Zastosowano dwie metody badań – w tym celu zamodelowano przekazywanie obciążeń na podłoże w postaci swobodnego nacisku, który może być reprezentowany przez nasyp oraz w postaci równomiernego nacisku, charakteryzującego fundament sztywny.

Wyniki badań osiadań w czasie wykazały wartości zbliżone, co może być spowodowane osiowym pomiarem przemieszczeń, zlokalizowanym w centrum próbki. Zauważono natomiast znaczącą różnicę w czasie rozpraszania się nadwyżki ciśnienia wody w porach, szczególnie przy większych obciążeniach, a zatem w przypadkach próbek bardziej skonsolidowanych.

Zastosowanie dwóch rodzajów obciążeń, przy pomiarze osiadań w osi próbki, w badaniach odkształceniowych, nie wykazuje zasadności stosowania jednej bądź drugiej metody obciążeń. Niemniej jednak, badania obejmowały tylko pomiar odkształcalności ośrodka. W związku z tym, badania należałoby rozszerzyć o analizę wpływu zależności przepływu od rodzaju obciążenia podłoża słabonośnego.

#### Literatura

- Larsson R. (1986). Consolidation of soft soils. *Swedish Geotechnical Institute*, Report No. 29, Linköping.
- Lechowicz Z., Szymański A. (1984). Prediction of consolidation of organic soil. *Annals of Warsaw Agricultural University*, No. 20, 55-59.
- Malinowska E., Bursa B., Chmielnicki P., Dziuba W. (2012). Wyznaczanie współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej w słabonośnych gruntach organicznych. *Acta Scientiarum Polonorum- Architectura*, Vol. 12, Issue 1, 63-74.
- Rowe P. W., Barden L. (1966). A new consolidation cell. *Geotechnique*, Vol. 16, Issue 2, 162-170.
- Wolski W. (1977). Budowa nasypów na gruntach organicznych. W: *Materiały Sympozjum naukowo-technicznego „Nasypy na gruntach organicznych”*. Poznań-Leszno 1977, 5-44.

#### THE ANALYSIS OF DIFFERENT LOADING IMPACT ON STRAIN RESULTS IN SOFT SUBSOIL

**Abstract:** The deformability of soft subsoil is quite difficult to predict, because of significant non-linear changes in porous soil under loading. It is particularly important to obtain the proper value of strain parameters regarding to small oedometer modulus and large initial porosity, decreasing significantly during and after loading. The influence of different type of loading on strain test results in soft subsoil was obtained using the Rowe cell by means of free strain loading and equal strain loading. The test results show that the value of deformability is quite the same, using free strain loading and equal strain loading, but the difference is in time of pore pressure dissipation. The analysis of strain test results under different type of loading in soft subsoil gives the opportunity to clarify the soil-engineering construction model.