

Gdańsk, dnia 24 września 2019 roku

dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. nadzw. Politechniki Gdańskiej
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kariny Zabłockiej
pt. „Wpływ pęcznienia na odkształcenia i wytrzymałość gruntów ilastych”
promotor: prof. dr hab. inż. Kazimierz Garbulewski

1. Podstawa opracowania

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej sporządziłem na zlecenie Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego zgodnie z pismem Dziekana z dnia 31 lipca 2019 roku na podstawie otrzymanego egzemplarza rozprawy. Oceny pracy dokonałem odnosząc się do przepisów *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami)* oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 roku (Dz.U. z 2011 roku, Nr 204, poz. 1200).

2. Tematyka i cel rozprawy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Kariny Zabłockiej jest określenie wpływu zjawiska pęcznienia na odkształcalność i wytrzymałość gruntów ilastych. Ekspansywne grunty ilaste występują w strefie przypowierzchniowej na znacznej części obszaru Polski. W wielu miejscach obecność gruntów ekspansywnych w poziomie posadowienia fundamentów wpływa istotnie na posadowienie obiektów budowlanych i warunki ich eksploatacji. Dodatkowe naprężenia, wywołane pęcznieniem takich gruntów pod wpływem zmiany wilgotności, mogą wywoływać istotne przemieszczenia konstrukcji, nierównomierne osiadania fundamentów oraz uszkodzenia i awarie obiektów budowlanych. Wzrost objętości gruntów, wskutek zjawiska pęcznienia, związany jest ze zmianą ich mikrostruktury i wpływa na zwiększenie ich odkształcalności i zmniejszenie ich wytrzymałości na ścinanie. Te dwa, niekorzystne z punktu widzenia mechaniki gruntów, zjawiska rozważa Autorka w swojej rozprawie doktorskiej. Podjęta tematyka badawcza stanowi klasyczne zagadnienie geotechniki o dużych walorach poznawczych i istotnym znaczeniu praktycznym, z uwagi na powszechność występowania gruntów ekspansywnych w Polsce i w wielu innych krajach. Problem ten Doktorantka rozpatruje w sposób przekrojowy w szeroko rozbudowanych badaniach laboratoryjnych gruntów ekspansywnych, w których uwzględnia zarówno grunty modelowe,

rekonstruowane w warunkach laboratoryjnych, jak i grunty naturalne pobierane z otworów badawczych.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca liczy 263 strony tekstu z uwzględnieniem obszernej bibliografii, spisu oznaczeń oraz streszczenia pracy w języku polskim i angielskim.

Doktorantka podzieliła tekst pracy na 6 rozdziałów o zróżnicowanej objętości. Po krótkim wstępie (rozdział pierwszy) w kolejnym rozdziale Autorka przedstawia hipotezę naukową, cel i zakres pracy. Celem naukowym pracy doktorskiej jest określenie wpływu pęcznienia na zmianę wybranych parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych gruntów ilastych oraz identyfikacja najważniejszych czynników wpływających na ten proces.

Rozdział trzeci stanowi przegląd literatury dotyczący zjawiska pęcznienia oraz właściwości gruntów pęczniących. Autorka omawia pęcznienie wewnątrzkrystaliczne i osmotyczne, wymienia czynniki wpływające na zjawisko pęcznienia oraz szczegółowo opisuje trzy minerały budujące grunty ilaste. Przedstawia metody identyfikacji mineralogicznej z uwzględnieniem analizy rentgenostrukturalnej, termicznej, różnicowej analizy termicznej, różnicowej kalorymetrii skaningowej, termograwimetrii oraz analizy mikrostrukturalnej w skaningowym mikroskopie elektronowym. Opisuje również metody bezpośrednie badania gruntów ekspansywnych, definiując podstawowe pojęcia oraz cytując wyniki odpowiednich testów laboratoryjnych. Doktorantka szczegółowo omawia metody pośrednie wyznaczania charakterystyk pęcznienia na podstawie granic Atterberga, zawartości frakcji iłowej, aktywności i zdolności wymiany kationów (CEC). Ważnym poruszonym zagadnieniem jest opis metod wyznaczania wypiętrzenia gruntów. Autorka przedstawia tutaj wzory empiryczne oraz metody wykorzystujące badania edometryczne, pomiar ssania gruntu oraz metodę CLOD opartą na krzywej skurczalności. Zwieńczeniem tego rozdziału jest przegląd literatury dotyczący wpływu pęcznienia na wytrzymałość i odkształcalność gruntów.

Rozdział czwarty stanowi zasadniczy element pracy, w którym Doktorantka opisuje przeprowadzone badania laboratoryjne. Dotyczą one gruntów naturalnych pobranych w trzech lokalizacjach oraz gruntów modelowych formowanych w różnych proporcjach z dwóch minerałów: kaolinu i montmorillonitu. Autorka wykonuje badania składu mineralnego metodą analizy rentgenostrukturalnej oraz ilościową analizę mikrostrukturalną metodą SEM. Ostatnią analizę ilustruje zdjęciami mikrostruktury próbek przed i po pęcznieniu. Określa parametry mikrostruktur i wskaźnik anizotropii mikrostruktury K_a . Wyznacza podstawowe właściwości fizyczne w postaci granulometrii, granic Atterberga i wilgotności optymalnej oraz klasyfikuje próbki na wykresie Cassagrande'a. W przypadku próbek gruntu modelowego Doktorantka przeprowadza badanie swobodnego pęcznienia w wodzie (wg Holtza-Gibsa) i w edometrze oraz określa wartość ciśnienia pęcznienia w edometrze trzema metodami. Analizuje ekspansywność wszystkich badanych gruntów, stosując odpowiednie nomogramy i klasyfikacje.

Parametr C_w wyznacza na podstawie krzywej skurczalności dla czterech rodzajów gruntu modelowego i analizuje uzyskane wartości tego parametru w zależności od zawartości ekspansywnych minerałów ilastych. Wskaźnik wypiętrzenia C_H określa na podstawie podwójnych badań edometrycznych i stwierdza, że wartość tego wskaźnika rośnie wraz z granicą płynności, czyli zawartością ekspansywnych minerałów ilastych.

W rozdziale 4.7 Doktorantka opisuje badania wpływu pęcznienia na odkształcalność gruntów modelowych. Analizuje proces pęcznienia, wyodrębniając w nim trzy etapy. Przeprowadza badania edometryczne oraz badania w aparacie trójosiowego ściskania z konsolidacją i bez odpływu na próbkach w stanie wyjściowym i po pęcznieniu. Na podstawie krzywych ściśliwości wyznacza edometryczne moduły ściśliwości pierwotnej i wtórnej oraz wskaźnik ściśliwości pierwotnej C_c . Ponadto na podstawie krzywych konsolidacji określa współczynniki konsolidacji c_v próbek w stanie wyjściowym i poddanych pęcznieniu. Analizuje otrzymane wyniki w zależności od zawartości ekspansywnych minerałów ilastych oraz początkowego obciążenia próbki. Na podstawie badań w aparacie trójosiowego ściskania określa wartości modułu odkształcenia E przy odkształceniu pionowym 0,1% i 0,5%.

W rozdziale 4.8 Pani mgr inż. Karina Zabłocka analizuje wpływ pęcznienia na parametry wytrzymałościowe próbek gruntu modelowego i naturalnego. Określa wytrzymałość na ścinanie bez odpływu w aparacie trójosiowego ściskania (CU) oraz wytrzymałość na ścinanie próbek o strukturze naruszonej na podstawie badań penetrometrem stożkowym. Wytrzymałość ta maleje wraz ze stopniem spęcznienia gruntu. Na podstawie badań w aparacie trójosiowego ściskania wyznaczono również efektywne parametry wytrzymałościowe tego gruntu oraz przedstawiono ścieżki naprężeń.

Rozdział piąty dotyczy metod uwzględniania wpływu pęcznienia na parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe gruntów ilastych. Korzystając z metod analizy statystycznej Autorka proponuje wzory do określenia wskaźnika C_w oraz wskaźnika C_H w zależności od parametrów podstawowych. Przedstawia metodykę wyznaczenia wypiętrzenia gruntu na podstawie tych dwóch wskaźników. Rozdział ten zawiera również propozycję wyznaczenia redukcji parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych gruntów ilastych poddanych procesowi pęcznienia. Doktorantka podaje wartości współczynników korekcyjnych edometrycznego modułu ściśliwości pierwotnej, modułu odkształcenia oraz wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w zależności od ciśnienia pęcznienia. Proponowaną metodę weryfikuje na podstawie pomiarów na próbkach pobranych z terenu zbiornika Racibórz Dolny oraz Wilanowa uzyskując dobrą zgodność parametrów pomierzonych i oszacowanych na podstawie proponowanej metody.

Rozdział szósty stanowią podsumowania i wnioski. Cennym uzupełnieniem pracy są załączniki, w których zestawiono wyniki badań.

4. Ocena merytoryczna pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Kariny Zabłockiej jest obszerną pracą badawczą o charakterze doświadczalnym. Podstawowym osiągnięciem Doktorantki jest opracowanie nowej metodyki oceny redukcji parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntów ekspansywnych poddanych procesowi pęcznienia. Badania prowadzone są w sposób przemyślany i systematyczny na próbkach gruntu naturalnego pobieranego z trzech różnych lokalizacji oraz próbek gruntu modelowego rekonstruowanych w warunkach laboratoryjnych. Autorka wykorzystuje tu dwa minerały ilaste: kaolin i montmorillonit mieszane w różnych proporcjach.

Pragnę podkreślić bardzo przejrzystą strukturę pracy. Po wnikliwie przedstawionej części bibliograficznej Autorka szczegółowo opisuje przeprowadzone badania własne. Szczególnie istotne są tutaj badania podstawowe dotyczące składu mineralogicznego wykonane metodą analizy rentgenostrukturalnej i analizy termicznej oraz ilościowa analiza strukturalna za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Przygotowując próbki do tej analizy Doktorantka stosuje wysoce specjalistyczną metodę suszenia niskotemperaturowego przez sublimację w próżni.

Przedstawia zdjęcia SEM gruntów przed i po pęcznieniu, a następnie stosując specjalistyczne oprogramowanie do statystycznej analizy obrazów określa wielkości, kształty i ułożenie ziaren i cząstek gruntu oraz wielkości i rozkład porów. Na podstawie orientacji elementów strukturalnych wyznacza wskaźnik anizotropii mikrostruktury. Przedstawione zdjęcia oraz analizy anizotropii strukturalnej ośrodka pozwalają na lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących podczas procesu pęcznienia. Bardzo wysoko oceniam przeprowadzone badania podstawowe stosowanych próbek gruntów ekspansywnych. Badania pęcznienia swobodnego Autorka zestawia i porównuje z wynikami ze wzorów empirycznych. Ciśnienie pęcznienia uzyskane trzema metodami przedstawia na wykresie w postaci zależności liniowej od zawartości ekspansywnych minerałów ilastych. Podsumowaniem charakterystyki ekspansywności badanych gruntów jest zbiór nomogramów i tabel. Generalnie rozpatrywane grunty mieszczą się w szerokim zakresie od średniej do bardzo wysokiej ekspansywności, co stanowi o dużej wartości tak przeprowadzonych badań i pozwala na wysnucie wniosków oraz opracowanie korelacji dotyczących szerokiego spektrum gruntów.

Dla gruntu modelowego wyznaczono zmiany edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej wskutek pęcznienia w różnym zakresie obciążeń. Na ogół obserwuje się redukcję modułu wraz ze wzrostem pęcznienia próbki, choć skala tej redukcji jest różna w zależności od rodzaju gruntu i poziomu naprężenia. Dodatkowo zaobserwowano przyrost wskaźnika ścisłości pierwotnej C_c wraz z zawartością ekspansywnych minerałów ilastych. Autorka wyznacza również wskaźnik konsolidacji w kierunku pionowym próbek poddanych różnym naprężeniom początkowym. Ważnym elementem pracy jest opis procesu pęcznienia w edometrze z podziałem na trzy fazy. Doktorantka stwierdza, że czas pęcznienia (natychmiastowego i początkowego) rośnie wraz z zawartością ekspansywnych minerałów ilastych.

Badania przeprowadzone w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach z konsolidacją i bez odpływu (CU) obejmowały grunty modelowe i grunty naturalne. Pozwoliły one na określenie parametrów odkształceniowych (moduły odkształcenia $E_{0,1\%}$ i $E_{0,5\%}$) oraz wytrzymałości na ścinanie bez odpływu gruntów w stanie wyjściowym i po pęcznieniu. Badania wykazały, że proces pęcznienia istotnie wpływa na obniżenie wartości modułów odkształcenia. Na podstawie badań w aparacie trójosiowego ściskania Autorka wyznacza wartości wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu, efektywne parametry wytrzymałościowe oraz kreśli ścieżki naprężenia. Stwierdza obniżenie wartości całkowitych i efektywnych parametrów wytrzymałościowych, przy czym redukcja spójności efektywnej jest większa niż spadek wartości kąta tarcia wewnętrznego. Po procesie pęcznienia zaobserwowano nawet kilkakrotną redukcję wytrzymałości na ścinanie c_{ur} wyznaczonej metodą penetrometru stożkowego.

Istotnym elementem rozprawy doktorskiej jest propozycja określenia wpływu pęcznienia na parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe gruntów. Autorka analizuje czynniki wpływające na poszczególne parametry oraz przeprowadza statystyczną analizę wpływu poszczególnych czynników odpowiednio pogrupowanych. Przy określeniu wskaźników C_w i C_H stosuje wzory biorące pod uwagę kombinację kilku czynników. Na podstawie analizy statystycznej wybiera zbiór trzech czynników o najwyższej wartości współczynnika determinacji R^2 . Autorka proponuje metodę postępowania przy określaniu maksymalnej możliwej ekspansji gruntów i zamieszcza odpowiedni algorytm w przypadku projektowania obiektów w gruntach pęczniących. Wyróżnia przypadek podłoża budowlanego obciążonego, gdzie wartość wypiętrzenia wyliczana jest na podstawie C_H oraz podłoża bez obciążenia, gdzie stosuje się wskaźnik C_w . Ponadto przedstawia współczynniki korekcyjne dotyczące edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej w zależności od ciśnienia pęcznienia. W przypadku modułów odkształcenia oraz wytrzymałości na ścinanie bez odpływu współczynniki

korekcyjne zależne są od wskaźnika pęcznienia i naprężenia efektywnego po konsolidacji. Proponowaną metodykę postępowania Autorka testuje na próbkach pobranych w Raciborzu Dolnym i w Wilanowie. Przeprowadzone badania w aparacie trójosiowego ściskania próbek po spęcznieniu potwierdzają poprawność przyjętej procedury.

Chciałbym podkreślić bardzo staranną edycję pracy. Diagramy opisujące rodzaj przeprowadzonych badań, rozmieszczone w newralgicznych punktach pracy, znakomicie ułatwiają śledzenie jej treści.

Za najważniejsze elementy oryginalne rozprawy doktorskiej, stanowiące własny dorobek naukowy Autorki, uznaję:

- wzorcową koncepcję badań uwzględniającą próbki gruntu formowane w laboratorium i pobierane w terenie,
- przeprowadzenie badań właściwości podstawowych próbek gruntów ekspansywnych z określeniem ich składu mineralogicznego oraz anizotropii mikrostrukturalnej,
- przeprowadzenie badań pęcznienia dwiema metodami oraz określenie ciśnienia pęcznienia,
- wykonanie serii badań w edometrze, aparacie trójosiowego ściskania oraz penetrometrem stożkowym w gruntach pęczniejących,
- wykazanie oraz oszacowanie redukcji parametrów wytrzymałościowych oraz odkształceniowych gruntów ekspansywnych wskutek procesu pęcznienia,
- identyfikację i analizę czynników wpływających na wskaźniki pęcznienia C_w i C_H oraz podanie propozycji odpowiednich zależności korelacyjnych,
- opracowanie metodyki wyznaczania wypiętrzenia gruntu.

5. Uwagi dyskusyjne

Struktura pracy jest bardzo przejrzysta. Jednakże, przesunięcie akapitu dotyczącego pęcznienia w edometrze w czasie (str.181-184) przed opis wyników badań edometrycznych ułatwiłoby, moim zdaniem, lekturę obu tych fragmentów tekstu. Autorka stosuje poprawne nazewnictwo. Jedyna uwaga dyskusyjna w tej kwestii dotyczy sformułowania „boczny czynnik ograniczający” na str.90. Na rys. 70 błędnie oznaczono granicę skurczalności.

Poniżej sformułowałem kilka pytań dodatkowych:

- Jak zmienia się wskaźnik ściśliwości pierwotnej po procesie pęcznienia (tabela 42)?
- Czy w literaturze są informacje na temat zmian składowej poziomej naprężenia w gruncie wskutek pęcznienia?
- Czy byłaby możliwość oszacowania przyrostu składowej poziomej naprężenia wskutek pęcznienia w warunkach edometrycznych? Jak te zmiany wpływają na edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej gruntów po procesie pęcznienia i interpretację wyników? W warunkach naturalnych mamy warunki pośrednie między swobodnym pęcznieniem a pęcznieniem w warunkach edometrycznych, zależne od sztywności otaczającego gruntu.
- Ciekawym zagadnieniem badawczym jest analiza wypiętrzenia gruntu na dużym obszarze wskutek pęcznienia gruntu. Jak odnieść wyniki pomiarów laboratoryjnych na pojedynczych próbkach do zjawiska występującego na dużej powierzchni w terenie?
- Jaki jest wpływ prekonsolidacji gruntu na zjawisko pęcznienia?
- Jaki procent spęcznienia otrzymano dla próbek badanych w aparacie trójosiowego ściskania?

- Czy byłaby możliwość porównania wytrzymałości na ścinanie bez odpływu próbki o strukturze naruszonej (przy dużych przemieszczeniach) c_{ur} i wartości c_u w zależności od procentowego spęcznienia próbki (patrz rysunek 111)?

- W pracy analizuje Pani próbki gruntów rekonstruowanych w laboratorium i zawierających różne minerały. Jaka jest jednorodność takich próbek?

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kariny Zabłockiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi istotne elementy poznawcze, dotyczące badań doświadczalnych w geotechnice i ich interpretacji. Stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska w pełni spełnia wymogi określone w odpowiednich przepisach. Pragnę podkreślić, że Autorka wykazuje się w rozprawie zaawansowaną wiedzą teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie Budownictwo oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych. Zawarte w pracy sformułowania i rozwiązania problemu badawczego potwierdzają, że Doktorantka zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) sprostała wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Kariny Zabłockiej pt. „Wpływ pęcznienia na odkształcenia i wytrzymałość gruntów ilastych” do publicznej obrony.

