

Dr hab. inż. Katarzyna Zabielska-Adamska, prof. nzw. Białystok, dnia 16 sierpnia 2019 r.
Katedra Geotechniki i Mechaniki Konstrukcji
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechnika Białostocka

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Marcina Smoczyńskiego

nt. „Reakcja nawodnionych gruntów niespoistych o niepełnym nasyceniu
w warunkach bez odpływu wody z porów”

1. WSTĘP

Recenzja została opracowana na zlecenie dr. inż. Piotra Szmytkiewicza – Zastępcy Dyrektora Instytutu Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk z siedzibą w Gdańsku (pismo nr KB/273/2018 z dnia 2 maja 2019 r.), realizującego decyzję Rady Naukowej IBW PAN z dnia 18 kwietnia 2019 r.

Praca doktorska została wykonana w IBW PAN pod kierunkiem dr. hab. inż. Waldemara Świdzińskiego, zatrudnionego na stanowisku profesora nadzwyczajnego.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY

Problematyka pracy doktorskiej zawiera się w obszarze dyscypliny budownictwo (inżynieria lądowa i transport) i specjalności geotechnika.

W inżynierii geotechnicznej często obserwuje się zachowania gruntu niezgodne z zasadami klasycznej mechaniki gruntów, ponieważ obecność więcej niż dwóch faz powoduje odmienne charakterystyki geomateriału. Stanowiło to podstawę podjęcia przez Doktoranta badań i rozważań teoretycznych nad opisem gruntów nienasyconych. Doktorant podjął się tematyki badawczej dotyczącej zachowania się gruntów o niepełnym nasyceniu w badaniu trójosiowym bez odpływu wody z porów. Charakterystyka zachowania naturalnych gruntów nienasyconych obejmuje pełen zakres stopni nasycenia, od nasycenia w strefie podciągania kapilarnego do nieciągłej fazy wodnej w strefie gruntów suchych. Doktorant zawężił stopień nasycenia interesujący Go w ramach pracy doktorskiej jako charakteryzujący się niezerowymi wartościami parametru Skemptonu B , gdy w gruncie występują zamknięte (niedrożne) powietrzne

bąble, a ciśnienie ssania jest bliskie zeru. Według Fredlunda i Rahardjo (1993)¹ zamknięte powietrze obserwuje się w gruncie o stopniu nasycenia $S_r > 0,9$. Taki stan nasycenia jest często nazywany w literaturze quasi-nasyceniem. Gdy grunt jest nawodniony, zawartość nawet 1% powietrza znacząco podnosi ściśliwość cieczy. Powietrze rozpuszczone w wodzie znacząco wpływa na ściśliwość mieszaniny powietrzno-wodnej, gdy objętość powietrza „wolnego” jest mniejsza niż 20% objętości porów.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Smyczyńskiego składa się z sześciu rozdziałów, wykazu najważniejszych oznaczeń, spisu literatury oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Rozprawa zajmuje 148 stron formatu A4, zawiera 10 tabel oraz 96 rysunków. W spisie literatury Autor przytacza 72 pozycji literatury (w tym, m. in. 10 podręczników i monografii oraz 2 prace doktorskie) dotyczących głównie zachowania się gruntu nie w pełni nasyconego pod obciążeniem oraz problematyki badań tych gruntów. Wykorzystane źródła literaturowe zostały napisane w zdecydowanej większości w języku angielskim (ponad 85%). Literatura nie jest zbyt bogata, przytoczono jednak pozycje niezbędne i wystarczające do realizacji pracy. Szkoda jednak, że Doktorant pominął prace profesorów E. E. Alonso, A. Gensa czy D. G. Fredlunda ze współpracownikami. Załącznik stanowi wersja elektroniczna pracy zapisana na nośniku DVD.

Rozdział 1. stanowi wstęp do pracy. Autor wyjaśnia motywację podjęcia problematyki badawczej, przybliżając zagadnienia wpływu nawodnienia na właściwości gruntów wraz ze zjawiskiem upłynnienia wymuszonym oddziaływaniem monotonicznym lub cyklicznym. Przedstawione uwagi w krytycznym przeglądzie literatury są uzasadnieniem podjęcia tematu i ustalenia celów poznawczych. W dalszej kolejności Doktorant podaje cel pracy, a także jej tezę, która brzmi: „nie w pełni nasycone grunty niespoiste mogą podlegać zjawisku upłynnienia, a stopień ich nasycenia determinuje intensywność generacji ciśnienia porowego przy ścinaniu w warunkach bez odpływu”. Sformułowano też tezy częściowe:

- efektywny stan naprężenia ma istotny wpływ na wartość parametru Skemptonu B ;
- do określenia podatności na upłynnienie gruntów niespoistych w strefie nienasyconej w warunkach *in situ* można wykorzystać korelację stopnia nasycenia gruntu oraz prędkości przejścia fali podłużnej.

Podstawowym celem pracy jest „zbadanie reakcji i opisanie procesów zachodzących w nawodnionych gruntach niespoistych o niepełnym nasyceniu, poddanych różnym rodzajom

¹ Fredlund D.G., Rahardjo H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley & Sons, Inc., New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore.

obciążenia zewnętrznego w warunkach bez odpływu wody z porów, ze szczególnym uwzględnieniem rozpoznania procesu generacji ciśnienia porowego”.

Określony cel pracy ma niezaprzeczalne walory poznawcze. W rozważaniach uwzględniono: przeprowadzanie serii eksperymentów w aparacie trójosiowego ściskania na próbkach nawodnionego gruntu niespoistego o różnym stopniu wypełnienia porów wodą, obciążonych monotonicznie i cyklicznie w warunkach bez odpływu wody z porów; określenie zależności prędkości rozchodzenia się w gruncie fali podłużnej od stopnia nasycenia; identyfikację podstawowych czynników mających wpływ na reakcję gruntów nie w pełni nasyconych; adaptację modelu teoretycznego opisującego proces generacji ciśnień porowych w nie w pełni nasyconych gruntach niespoistych w warunkach bez odpływu w zależności od stopnia wypełnienia porów wodą, a także kalibrację modelu poprzez wyznaczenie podstawowych parametrów oraz funkcji modelowych oraz jego weryfikację dla gruntów niespoistych o innym uziarnieniu. Pracę kończy weryfikacja modelu teoretycznego w oparciu o wyniki badań przeprowadzonych na próbkach NNS nie w pełni nasyconego gruntu, pobranych z rzeczywistej konstrukcji składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most.

W rozdziale 2. Autor opisuje parametry charakteryzujące ośrodek nienasycony: ciśnienie ssania, stopień nasycenia, ściśliwość szkieletu, powietrza i wody w porach gruntu, parametr Skemptonia B i jego zmienność w badaniach trójosiowych oraz prędkości rozchodzenia się fali podłużnej. Wiele problemów potraktowano tu skrótowo, bez pogłębienia wiedzy na podstawie literatury. Przykładowo, Doktorant stwierdza, że parametr χ występujący w równaniu Bishopa jest funkcją nasycenia gruntu i przyjmuje wartości od 0 do 1. Według Fredlunda (2006, 2018)^{2,3} badania laboratoryjne pokazały, że parametr χ może przyjmować wartości spoza podanego zakresu oraz różni się w różnych stanach naprężenia. Zależność $\chi(S_r)$ jest nieoczywista w przypadku zagęszczanych gruntów spoistych. Wskazany przez Doktoranta wzór (2.25) na obliczenie parametru Skemptonia B nie wynika bezpośrednio z pracy Skemptonia (1954)⁴, ale po przyjęciu określonych założeń można równanie Skemptonia doprowadzić go do postaci (2.25), co nie zostało opisane w pracy. W punkcie zatytułowanym „Parametr Skemptonia B ” należałoby sięgnąć do podstaw. W części rozdziału dotyczącej ściśliwości brak jest odniesień literaturowych.

² Fredlund D.G. (2006). *Unsaturated soil mechanics in engineering practice*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 132(3): 286–321.

³ Fredlund D.G. (2018). *Role of the soil-water characteristic curve in unsaturated soil mechanics*. W: Proceedings of the 7th International Conference on Unsaturated Soils, Hong Kong, 1–24.

⁴ Skempton A.W. (1954). *The pore pressure coefficients A and B*. Géotechnique 4(4): 143–147.

Rozdział 3. poświęcono opisowi wykonanych badań laboratoryjnych, w tym wykorzystanej aparatury badawczej i badanych gruntów. Szczegółowo opisano przygotowanie próbek do badań trójosiowych i metodykę przeprowadzenia badań. Należy tu stwierdzić, że badania wykonano niezwykle starannie, a proces formowania próbek i ich nasycania wodą był niezwykle precyzyjny, co umożliwiło wyciągnięcie wniosków przedstawionych w pracy i późniejsze modelowanie teoretyczne. Badania przeprowadzono na dwóch gruntach – piasku modelowym Skarpa, wykorzystywanym w badaniach laboratoryjnych prowadzonych w IBW PAN, oraz osadach poflotacyjnych z OUOW Żelazny Most. Grunty różnią się nie tylko pochodzeniem, ale także uziarnieniem (w tym zawartością frakcji drobnej $< 0,075$ mm) i parametrami kształtu ziaren. Podano charakterystyki ściśliwości osadów poflotacyjnych w stanie kontraktywnym i dylatywnym różnie obciążanych próbek, podczas gdy charakterystyki ściśliwości piasku modelowego zaczerpnięto z literatury. Przedstawiono wyniki badań ścinania nienasyconego gruntu podczas trójosiowego ściskania bez odpływu wody z próbki w zależności od zagęszczenia próbek gruntu oraz współczynnika Skemptonu B , mierzonego przy średnim naprężeniu efektywnym równym 20 kPa i po zakończeniu procesu konsolidacji. Piasek w stanie luźnym, nasycony od $B=0,34-0,93$, charakteryzuje się zmniejszeniem wytrzymałości na ścinanie wraz ze zwiększeniem nasycenia próbek. Ścieżki naprężenia zakrzywiają się charakterystycznie do powierzchni granicznej Coulomba-Mohra przy zmniejszającym się średnim naprężeniu efektywnym. Podobne zjawisko zaobserwowano w przypadku odpadów poflotacyjnych. Dla próbek o najwyższej wartości $B=0,93$, zaobserwowano zjawisko upłynnienia. Podobne badania przeprowadzono w przypadku próbek osadów w stanie bardzo zagęszczonym o $B=0,40-0,56$. Podczas ścinania zaobserwowano wygenerowanie się ujemnego ciśnienia porowego. Stwierdzono również wpływ nasycenia na reakcję gruntu podczas ścinania, chociaż zakres B nie był szeroki. Następnie wykonano badania trójosiowe przy cyklicznym ścinaniu gruntów. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem nasycenia próbek liczba cykli koniecznych do upłynnienia gruntu rośnie. W przyjętych warunkach badania piasek Skarpa nie podlegał upłynnieniu przy $B \leq 0,85$. W dalszej kolejności przedstawiono, w oparciu o wyniki badań własnych, funkcje ściśliwości aksjatorowej i dewiatorowej szkieletu gruntowego osadów przy różnym zagęszczeniu próbek. Dalej Doktorant wykazał, że w trakcie izotropowej konsolidacji następuje spadek parametru Skemptonu B wraz ze wzrostem średniego naprężenia efektywnego. Zaobserwowano, że gdy $B > 0,25$ pomierzone wartości stopnia nasycenia odpowiadają wartościom obliczonym na podstawie parametru Skemptonu B , co będzie wykorzystane podczas modelowania. W badaniach

trójosiowych pomierzono także prędkości przejścia przez próbkę fali podłużnej, uzależniając ją od nasycenia próbki. Doktorant do badań zaprezentowanych w tym rozdziale wykorzystał również próbki pobrane jako NNS ze składowiska odpadów poflotacyjnych, o uziarnieniu drobniejszym niż wcześniej badane osady. Stwierdzono dylatywny charakter zależności $q(p')$. Rozdział 3. należy ocenić bardzo wysoko.

W rozdziale 4. przedstawiono model teoretyczny, jego podstawy matematyczne oraz wpływ poszczególnych czynników na uzyskane zależności predykcyjne. Do analizy zachowana się gruntów nie w pełni nasyconych wykorzystano zmodyfikowany półempiryczny model przyrostowy, zaproponowany wcześniej przez Promotora pracy. Biorąc pod uwagę uzyskaną wcześniej zgodność wartości stopnia nasycenia obliczanej i pomierzonej na podstawie wartości współczynnika Skemptonia B , w modelu przyjęto, że ściśliwość wody w porach gruntu zostanie powiązana ze stopniem nasycenia S_r . Wykorzystano także zaobserwowaną zależność parametru B od początkowego średniego naprężenia efektywnego. Stwierdzono, że model dobrze odzwierciedla zachowanie się gruntów nienasyconych, a w szczególności wpływ nasycenia na zmianę charakteru charakterystyk gruntu i wzrost podatności na upłynnienie.

W rozdziale 5. zamieszczono porównanie wartości wyznaczonych na podstawie modelowania z wynikami badań laboratoryjnych zarówno na próbkach przygotowywanych w laboratorium, jak i pobranych ze składowiska jako NNS. Porównania dokonano również w oparciu o wyniki badań zaczerpnięte z literatury.

Pracę kończy rozdział 6. *Podsumowanie i wnioski*. Stwierdzenia przedstawione w tym rozdziale można nazwać jedynie podsumowaniem. W pracy brak jest wniosków, które utożsamiane są z uogólnieniem osiągnięć rozprawy i wskazaniem jej aspektów użytkowych. Nie odniesiono się do tezy pracy ani nie wskazano kierunku dalszych badań. Z pewnością można jednak stwierdzić, że teza została udowodniona a cel spełniony, jak również cele szczegółowe.

3. OCENA PRACY

Praca doktorska mgr. inż. Marcina Smyczyńskiego ma charakter doświadczalno-teoretyczny. Autor wykazał się umiejętnością sprecyzowania tematu i posługiwania się metodą naukową przy jego realizacji. Tematyka rozprawy jest oryginalna, a teza i cele pracy jasno określone. Doktorant wykazał się dobrą znajomością literatury przedmiotu. Badania laboratoryjne podjęte przez Autora wymagały dużej biegłości w ich przeprowadzeniu, a model numeryczny – zaawansowanego aparatu matematycznego.

Według recenzenta do głównych osiągnięć pracy należy zaliczyć:

1. Ustalenie reakcji nie w pełni nasyconych gruntów – naturalnego piasku średniego i osadu poflotacyjnego o uziarnieniu piasku drobnego o różnym zagęszczeniu na obciążenie monotoniczne w badaniu trójosiowym bez odpływu wody z porów.
2. Zbadanie zachowania się nie w pełni nasyconego naturalnego piasku średniego o różnym zagęszczeniu na obciążenie cykliczne w badaniu trójosiowym bez odpływu wody z porów.
3. Określenie wpływu stanu naprężenia na wartość parametru Skempton B . W trakcie izotropowej konsolidacji następuje spadek parametru Skempton B wraz ze wzrostem średniego naprężenia efektywnego.
4. Ustalenie podatności gruntu na upłynnienie w zależności od nasycenia gruntu pod obciążeniem monotonicznym i cyklicznym, co może być wykorzystane do określenia podatności na upłynnienie gruntów niespoistych w strefie nienasyconej.
5. Ustalenie zależności prędkości fali podłużnej w ośrodku gruntowym w zależności od stopnia nasycenia ośrodka.
6. Określenie funkcji ściśliwości szkieletu gruntowego osadu poflotacyjnego przy różnym zagęszczeniu próbek, wykorzystane jako parametry modelu teoretycznego.
7. Zaproponowanie modelu teoretycznego będącego modyfikacją półempirycznego modelu przyrostowego Świdzińskiego, umożliwiającego predykcję zachowania się gruntu nienasyconego, w tym podatności na upłynnienie.
8. Weryfikacja zaproponowanego modelu przy użyciu próbek NNS pobranych ze składowiska odpadów poflotacyjnych, jak też próbek preparowanych w laboratorium i wyników badań innych badaczy.

4. UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

Nie wnoszę uwag krytycznych do przeprowadzonych badań laboratoryjnych i ich analizy, jak również do skonstruowanego modelu numerycznego i jego weryfikacji. Uwagi dotyczące przeglądu literatury i wniosków wniosłam w opisie przyporządkowanych im rozdziałów – rozdziału 2. i 6.

Uwagi krytyczne natury formalnej:

Praca została starannie zredagowana, pozycje literaturowe poprawnie cytowano w pracy. W treści pracy przywołano rysunki i tabele zamieszczone w rozprawie. Nasuwa się jednak kilka uwag natury edycyjnej:

1. W pracy doktorskiej napisanej w języku polskim niepoprawnie użyto znaków typograficznych. W języku polskim część dziesiątą oddziela się przecinkiem, a kropka może służyć co najwyżej jako separator grup trzycyfrowych (tysięcy, milionów, itd.), co również jest nie jest uznawane za słuszne.
2. Zauważono drobne błędy merytoryczne. Na stronie 26 grunt charakteryzujący się stopniem zagęszczenia $I_D \leq 0,7$ zakwalifikowano jako bardzo zagęszczony, a nie zgodnie z normą ISO jako zagęszczony. Na stronie 22 opisano parametr kształtu ziaren jako „forma krawędzi (krawędzista, obtoczona, gładka lub chropowata)”. Kształt ziaren jest podstawą jednej z klasyfikacji gruntu według Eurokodu 7, zatem wykorzystane nazewnictwo powinno być normowe. Według normy ISO i literatury ostrość krawędzi (stopień obtoczenia) oraz charakter powierzchni (szorstka czy gładka) są dwoma różnymi parametrami określającymi kształt cząstek. Trzecim parametrem jest forma i dotyczy ona kulistości (wydłużenia) ziaren.
3. Stwierdzono nieprawidłowości w doborze słownictwa technicznego wykorzystanego w pracy, wynikające w większości z dosłownego tłumaczenia z języka angielskiego. Przykładowo, Doktorant używa określeń: woda porowa zamiast woda w porach gruntu, relacja zamiast zależność czy wzór, współczynnik spoczynkowego parcia bocznego zamiast współczynnik parcia spoczynkowego, elementowy zamiast elementarny, czy też doświadczenie trójosiowe zamiast badania trójosiowego.
4. Rysunki cytowane za pozycjami obcojęzycznymi powinny mieć przetłumaczone tytuły osi i napisy, co nie zawsze wykonano w recenzowanej pracy.
5. W spisie *Bibliografia* zamieszczono 1 pozycję, której nie zacytowano w pracy (Sawicki, 2014). Inne dwie pozycje: (Wang i in., 2016) oraz (Yasuda i in., 1999) niepoprawnie opisano w spisie – sformułowania *i inni* (w skrócie *i in.*) używa się przytaczając pozycje literaturowe w tekście, natomiast w spisie literatury należy wyliczyć wszystkich autorów pracy.
6. Według *Słownika skrótów i skrótowców* Jerzego Podrackiego (PWN, Warszawa 1999) kropki po *pkt* nie stawia się nawet w przypadkach zależnych.

Uwagi dyskusyjne to:

1. W rozdziale 1. w pkt 1.3 zdefiniowano pojęcie niepełnego nasycenia (strony 18 i 28), przyjmując za Kamatą i in. (2009), że niepełne nasycenie utożsamiane jest z brakiem ciągłej fazy gazowej w porach gruntu, gdzie występują jedynie pęcherzyki powietrza otoczone wodą, a ciśnienie ssania jest bliskie zeru. Takie ograniczenie zakresu tezy

badawczej jest jak najbardziej wskazane, ale nie może ono zastępować definicji gruntu nienasyconego, która jest bardzo szeroka i obejmuje cały zakres od gruntu suchego do nawodnionego, poza suchym i w pełni nawodnionym.

2. Autor w pkt 3.3.2 zamieścił dwa zdjęcia z mikroskopu optycznego (rys. 3.5) i scharakteryzował piasek Skarpa jako nieobtoczony piasek średni. Na zdjęciu po lewej stronie ziarna są wyraźnie obtoczone i charakteryzują się matową powierzchnią jak w przypadku piasków eolicznych (wydmowych). Proszę o wyjaśnienie czy oba zdjęcia wykonano dla tego samego gruntu.

5. WNIOSEK

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego zarówno w zakresie problematyki, jak i metod badawczych. Mgr inż. Marcin Smyczyński udowodnił, że potrafi samodzielnie prowadzić pracę badawczą i posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej budownictwo/inżynieria lądowa i transport. Założone cele zostały osiągnięte, a teza udowodniona.

Praca doktorska mgr. inż. Macieja Smyczyńskiego pt. „Reakcja nawodnionych gruntów niespoistych o niepełnym nasyceniu w warunkach bez odpływu wody z porów” spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zm.).

Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr. inż. Marcina Smyczyńskiego do publicznej obrony.

Dr. hab. inż. Adam Adam