dr hab. inż. Wojciech Puła, prof. nadzw. PWr
53-204 Wrocław
ul. Ojca Beyzyma 20 B

Wrocław, 29.05.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Kingi Witek pt. „Analiza wpływu zawartości frakcji pyłowej i iłowej na procesy zamarzania gruntów drobnoziarnistych"

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dn. 26 kwietnia 2018 roku.

1. Uwagi ogólne

Zjawiska zamarzania gruntów i w konsekwencji powstawania wysadzin są przedmiotem zainteresowania badaczy i inżynierów już od z górą stu lat. Wysadziny będące konsekwencja pęcznienia mrozowego gruntów powodują dotkliwe straty nie tylko w obiektach infrastruktury drogowej, ale także zagrażają prawidłowej eksploatacji istniejących budynków, a nawet mogą doprowadzać do stanów utraty nośności. Mogą też zagrozić bezpieczeństwu i prawidłowej pracy skomplikowanych maszyn i urządzeń na placach budów. Nic dziwnego, że zjawiska te, ich powstawanie i konsekwencje są obiektem dużego zainteresowania środowiska geotechników. Wraz z rozwojem mechaniki gruntów i jej zastosowań pojawiają się nowe pytania i zagadnienia związane z naturą wysadzin i mechanizmami ich powstawania. W konsekwencji prowadzone są badania próbujące lepiej opisać zjawiska przemarzania gruntów oraz sposoby ich unikania i zabezpieczania się przed nimi.

W tym kontekście problematykę podjętą w pracy doktorskiej pani mgr inż. Kingi Witek pt. „Analiza wpływu zawartości frakcji pyłowej i iłowej na procesy zamarzania gruntów drobnoziarnistych", należy uznać za bardzo ważną a jednocześnie nie w pełni rozpoznaną.

Rozprawa doktorska pani Kingi Witek, o łącznej objętości 107 stron, składa się z 15 rozdziałów poprzedzonych spisem treści oraz zamieszczonym po nich - spisem literatury. Na końcu załączono streszczenia w języku polskim oraz języku angielskim.

2. Krytyczne omówienie treści pracy

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, natomiast w drugim - przedstawiono cele oraz zakres pracy. Autorka postawiła sobie cztery następujące cele:

1. określenie zależności pomiędzy ilością frakcji pyłowej i iłowej w gruntach zaliczanych do wysadzinowych i wątpliwych, a wysokością pęcznienia mrozowego;
2. określenie związku pomiędzy początkowym stopniem wilgotności a wysokością wysadzin;
3. analizę mechanizmów i zjawisk powodujących powstawanie wysadzin w badanych gruntach;

4. ocenę szybkości wymiany ciepła w próbkach gruntu w zależności od ich rodzaju i stopnia nasycenia.

Należy stwierdzić, że cele 1,2 oraz 4 są jasno sprecyzowane, jednak cel nr 3 jest sformułowany bardzo ogólnie i jest trudny do kompletnego zrealizowania.

Rozdział drugi uważam za dobrze sformułowany – zwięźle i jasno pokazujący co jest przedmiotem pracy.

Kolejne rozdziały pracy można podzielić na dwie zasadnicze części. Pierwszą z nich jest obszerny opis wiedzy dotyczącej fizyki zjawisk związanych bezpośrednio lub pośrednio z powstawaniem wysadzin w gruntach. Część ta obejmuje rozdziały od trzeciego do dziewiątego (około połowy objętości pracy) i, jak się wydaje, ma doprowadzić do realizacji celu nr 3. Druga część dotyczy badań eksperymentalnych autorki, uzyskanych przez nią wyników oraz ich interpretacji. Ta część służy realizacji pozostałych trzech postawionych celów.

W rozdziale 3 autorka podaje liczne przykłady pokazujące niekorzystne efekty przemarzania gruntów, które wpływają na nieprawidłowe funkcjonowanie obiektów inżynierskich. Stanowi on zwięzłe, ale intersujące studium przykładów zaczerpniętych z literatury.

Rozdział 4 charakteryzuje grunt jako ośrodek trójfazowy, ze szczególnym uwzględnieniem roli wody występującej w porach i jej podziałem na wodę wolną, związaną i kapilarną, a także wodę występującej w postaci lodu.

W kolejnym – piątym rozdziale – autorka omawia kolejno: zjawiska termiczne zachodzące w gruncie, zjawiska fizykochemiczne na powierzchni cząstek, warunki wydzielania się lodu oraz obniżony punkt zamarzania wody w gruncie. Kluczowe dla dalszej części rozprawy są podrozdziały od 5.5. do 5.7, dedykowane kolejno: procesowi tworzenia się wysadzin, migracji wód w procesie zamarzania gruntu oraz ssaniu związanym z tworzeniem się soczewek lodowych. Następnie (rozdział 6) autorka przechodzi do omówienia teorii procesów zamarzania, przedstawiając kolejno teorię kapilarną – pierwotną i wtórną oraz teorię opartą na siłach adsorpcji. W rozdziale 7 zanalizowane są najważniejsze czynniki wpływające na wielkość wysadzin, tj. skład granulometryczny gruntów, poziom zwierciadła wody gruntowej oraz efekt wartości ujemnej temperatury i czasu jej trwania. Wreszcie w rozdziale 8 przedstawiono kilka kryteriów wysadzinowości gruntów, z uwzględnieniem często stosowanego – pionierskiego – kryterium Casagrandego, bazującego na składzie granulometrycznym gruntu.

Komentując tę część pracy należy stwierdzić, że ma ona charakter przede wszystkim sprawozdawczy, oparty całkowicie na gruntownym przeglądzie istniejącej literatury. Należy jednak podkreślić obszerność i rzetelność tego opracowania. Według mojej opinii jest to omówienie krytyczne, wskazujące na własną analizę i przemyślenia autorki, wskazujące na jej umiejętność krytycznej oceny rezultatów badawczych.

Z drugiej strony trzeba odnotować, że w omawianej części autorka traktuje wszystkie przedstawiane koncepcje w sposób opisowy, nie przedstawiając prawie żadnych modeli matematycznych ani konstytutywnych. A przecież cytowana przez autorkę praca Michałowskiego i Zhu z 2006 roku zawiera modelowanie konstytutywne. Podobnie praca Zhanga i współautorów z 2017, też cytowana przez autorkę, zawiera modelowanie matematyczne opisywanych zjawisk.

W sumie jednak uważam, że ta część pracy (tzn. rozdziały 3-8) zasługuje na ocenę dobrą.

Drugą część pracy rozpoczyna rozdział 9, w którym omówiono laboratoryjne metody badania procesów powstawania wysadzin oraz oceny rozmiarów wysadzin. Podsumowując ten rozdział autorka stwierdza, że żadna z przedstawionych metod

nie podaje sposobu takiego badania wysadzinowości gruntów, aby można było uniknąć stosowania sztywnych osłon bocznych, mających wpływ na ocenę rozmiarów wysadzin. I dalej autorka pisze „W niniejszej pracy przedstawiono metodykę laboratoryjnych badań wysadzinowości gruntów spoistych bez konieczności użycia cylindrów osłonowych, aby umożliwić swobodny przyrost próbek w procesie mrożenia." Dalsza część pracy czyni to stwierdzenie wiarygodnym. Nie mam uwag krytycznych do tego rozdziału.

W rozdziale dziesiątym scharakteryzowano grunty, które poddano eksperymentom laboratoryjnym. Podstawowym kryterium wyboru materiału gruntowego, które przyjęła autorka, było zróżnicowanie zawartości frakcji pyłowej i iłowej poszczególnych materiałów. I tak badaniom poddano cztery rodzaje gruntów: grunt 1 - pył, pochodzący z formacji geologicznej Wał Trzebnica (okolice Wrocławia), grunt 2 - glina piaszczysta zwięzła, pochodzącą z czwartorzędowych osadów pradoliny Widawy (okolice Wrocławia) oraz dwa sztucznie uzyskane materiały złożone z frakcji piaskowej oraz frakcji pyłowej, zawierające odpowiednio 30% frakcji pyłowej (grunt 3) oraz 50% frakcji pyłowej (grunt 4). Cechy uziarnienia tych materiałów podano w podrozdziale 10.2. Z punktu widzenia dalej opisanych badań taki dobór materiałów jest moim zdaniem uzasadniony.

Pytanie do wyjaśnienia: W dalszej części pracy grunt 4 autorka traktuje jako grunt niespoisty. Dlaczego? Według powszechnie przyjętych klasyfikacji pył piaszczysty uważany jest za grunt spoisty. A może określenie pył piaszczysty nie jest adekwatne dla tego materiału?

W kolejnych fragmentach rozdziału 10 kontynuowano charakterystykę czterech wybranych materiałów gruntowych na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, kolejno badając powierzchnię właściwą, gęstość właściwą szkieletu, parametry określające zagęszczenie, by w ostatnim podrozdziale (10.5) określić cechy porowatości wilgotności i próbek poddanych badaniom wysadzinowości.

Rozdział 10 zasługuje w mojej opinii na wysoką ocenę. Jest napisany w sposób klarowny, uzasadnia wybór materiałów gruntowych do badań oraz dokładnie opisuje badania i uzyskane niezbędne charakterystyki tychże materiałów.

Opis aparatury zastosowanej do badania wysadzinowości zawarto w rozdziale 11. Podstawowym elementem stanowiska badawczego była komora klimatyczna, w której zainstalowano zespół instrumentów do badania w otwartym systemie gruntowo-wodnym, czyli z możliwością podciągania kapilarnego wody od dołu. Skonstruowane przez autorkę stanowisko umożliwiło pomiar przyrostu objętości próbek w czasie mrożenia a także mierzenie szybkości zmian temperatury wewnątrz próbki gruntu. Opis stanowiska jest na tyle szczegółowy, że daje on możliwość odtworzenia stanowiska i przeprowadzenia analogicznych pomiarów przez innych badaczy w przyszłości. Należy podkreślić, że skonstruowanie tego skomplikowanego stanowiska i doprowadzenie go do poprawnego funkcjonowania było niewątpliwie niełatwym zadaniem i stanowi istotne osiągnięcie autorki.

Pytania do wyjaśnienia: 1. W wykonanym stanowisku badawczym woda utrzymywana była na stałym poziomie względem próbki (1 cm powyżej dolnego końca próbki). Z drugiej strony z badań Burnsa, opisanych przez autorkę w podrozdziale 7.2, wynika wysokość podnoszenia powierzchni gruntu podczas zamarzania zmienia się wraz ze zmianami położenia zwierciadła wody gruntowej. Czy zatem nie ma obawy, że jeden z ważnych czynników wpływających na wielkość wysadzin, jakim jest położenie zwierciadła wody gruntowej, będzie w ten sposób pominięty?

2. Jak nadmieniono w podrozdziale 11.3 rozszerzalność boczna próbek była ograniczona ze względu na zastosowanie izolacji bocznej. Czy nie ma w związku z tym ryzyka zaburzenia procesu powstawania wysadzin, co mogłoby powodować wątpliwości w interpretacji wyników?

W kolejnym - 12 rozdziale - omówiono sposób przygotowania prób gruntu oraz przebieg zaplanowanych badań. Badania przeprowadzono na sześciu próbach dla trzech różnych wariantów parametrów początkowych, którymi były wskaźnik porowatości i stopnień wilgotności. Osobno wykonywano pomiary dla gruntów spoistych (grunty 1 i 2) oraz osobno dla gruntów zwanych przez autorkę niespoistymi (grunty 3 i 4). Dobór liczebności próby uzasadniono przez zastosowanie rozkładu studenta do wyników uzyskanych w próbie wstępnej (podrozdział 12.3). Całkowity czas mrożenia prób wynosił 160 godzin.

Uwaga: Umieszczanie próbek gruntów 3 oraz 4 w osłonach z pleksi oraz z podkładkami z pleksi od spodu, o czym jest mowa w podrozdziale 12.2, zapewne utrudnia migrację wody do próbki.

Rozdział 12 jest niewątpliwie wartościowy, gdyż pokazuje różne szczegóły badań, które mogą mieć wpływ na obiektywność uzyskanych rezultatów.

W rozdziale 13 autorka zamieściła wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach. Podrozdział 13.1 zawiera wyniki badania rozkładu temperatury na różnych wysokościach próby w zależności od czasy procesu mrożenia. W gruntach spoistych autorka zaobserwowała, że w początkowym okresie badań szybkość zmian temperatur była większa w próbkach o większym stopniu wilgotności z czasem jednak tendencja ta odwracała się. Autorka wykazała, że takie tendencje są zgodne z teoretyczną interpretacją zjawisk termicznych zachodzących w próbkach. Z analogicznych badań dla gruntów 3 oraz 4, określanych w pracy jako niespoiste, autorka wysnuła wniosek, że „szybkość wymiany ciepła w profilu próbek gruntów niespoistych...jest tym większa im mniejsza jest zawartość frakcji drobniejszych. Wyniki zamieszczone w tabeli 13.3 potwierdzają te tezę. W punkcie 13.1.3 porównano i skomentowano rozkład temperatury w próbce na różnych poziomach pomiarowych po 10 i 160 godzinach procesu mrożenia dla wszystkich czterech badanych gruntów.

Uwaga: Nie odnalazłem informacji, czy wyniki podane w tabelach 13.1, 13.2 i 13.3. są rezultatami pojedynczego badania, czy też są wartościami średnimi uzyskanymi z badania sześciu prób.

W podrozdziale 13.2 autorka zamieściła wyniki, które w mojej opinii są najważniejsze w całej pracy, czyli pomiary przyrostu wysokości próbek po zakończeniu procesu badania wysadzinowości. W gruntach spoistych (1 i 2) przy jednakowej porowatości większy przyrost wysokości uzyskano dla gruntów, których wilgotność początkowa była mniejsza. Wynik ten, jak sama autorka stwierdza, nie jest zgodny z wcześniej cytowanymi przewidywaniami Burnsa. Uzyskane wyniki wskazują też, że w gruntach spoistych duże wysadziny powstają także w przypadku maksymalnego ich zagęszczenia (maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego). Ponadto autorka zwróciła uwagę na powstawanie soczewek lodowych oraz wyraźnej granicy przemarzania, występujących w gruntach spoistych. W badaniach gruntów 3 i 4, czyli w gruntach o znacznej zawartości frakcji piaskowej zaobserwowano niewielkie pęcznienie mrozowe oraz słabo widoczną granicę przemarzania, co skłoniło autorkę do stwierdzenia, że grunty te należą do gruntów słabo wysadzinowych. Autorka sformułowała też wniosek, że wielkość pęcznienia mrozowego zależy od wilgotności początkowej. Wniosek ten niewątpliwie potwierdzają uzyskane wyniki. W punkcie 13.2.4. autorka przeprowadziła analizę statystyczną wyników badań wysadzinowości

(na podstawie sześciu prób), obliczając wartości średnie, odchylenia standardowe, współczynniki zmienności, a także przedziały ufności dla średniej przyrostów wysokości prób spowodowanych pęcznieniem mrozowym. Obliczone charakterystyki wskazują na niezbyt duży rozrzut wyników, co potwierdza ich wiarygodność.
Uwaga: Wartości wskaźnika porowatości oraz stopnia wilgotności w tabelach 13.7 oraz 13.8 są najprawdopodobniej niepoprawne, gdyż odbiegają od wartości przytaczanych przez autorkę we wcześniejszych rozdziałach pracy (prawdopodobnie znalazły się tam przez skopiowanie wartości z poprzedniej tabeli).
W kończącym rozdział 13 podrozdziale 13.3 autorka zestawiła wartości wskaźnika porowatości oraz stopnia wilgotności próbek gruntu przed mrożeniem z wartościami tych samych cech po zakończeniu procesu mrożenia. Z zamieszczonych w tabelach 13.8 oraz 13.9 wynika, że przyrosty wskaźnika porowatości oraz stopnia wilgotności zależą w sposób rosnący od przyrostu wysokości próbek w procesie mrożenia. Dużo większe wzrosty wskaźnika porowatości oraz stopnia wilgotności zaobserwowano w przypadku gruntów spoistych.
Pytanie do wyjaśnienia: Dlaczego wartość stopnia wilgotności podana w pierwszym wierszu tabeli 13.8 po procesie mrożenia jest większa od 1?
W kolejnym – 14 rozdziale autorka podsumowuje wyniki przeprowadzonych przez siebie badań laboratoryjnych. Demonstrując wykres zależności wysokości pęcznienia mrozowego prób od zawartości frakcji pyłowej, uzyskany na podstawie przeprowadzonych badań (rys. 14.1), autorka wysnuwa interesujący wniosek, że sama zawartość frakcji pyłowej nie ma większego wpływu na wysokość pęcznienia mrozowego. Następnie autorka demonstruje wykres zależności pęcznienia mrozowego od sumarycznej zawartości frakcji pyłowej i iłowej (rys. 14.2), z którego wynika, że największe pęcznienie mrozowe wykazuje grunt o najwyższej sumarycznej zawartości frakcji pyłowej i iłowej (grunt nr 1, czyli pył). Wnioski te są niewątpliwie bardzo ważne, ale należy pamiętać, że dotyczą one zbadanych czterech gruntów. Weryfikacja tych wniosków wymaga dalszych badań.
W podrozdziale 14.3 autorka, rozwijając hipotezę sformułowaną w poprzednim rozdziale oraz stosując regresję liniową, poszukuje zależności pomiędzy sumaryczną zawartością frakcji iłowej i pyłowej a wysokością wysadzin. W rezultacie analizy statystycznej zaproponowana zostaje zależność w postaci funkcji eksponent, której argumentem jest średnia ważona zawartości frakcji iłowej i pyłowej. To także ważne spostrzeżenie, ale tak jak poprzednio trzeba mieć na względzie jego lokalny charakter.
Uwagi: 1. Współczynniki korelacji podane w tabelach 14.1 – 14.3 są, jak mniemam – bo tej informacji w pracy nie podano – obliczone na podstawie czterech par wyników (w każdym z trzech przypadków). Jest to bardzo niewielka liczba i proponowana zależność funkcyjna jest obarczona sporym czynnikiem niepewności.

2.Wydaje się, że poszukiwanie zależności funkcyjnej wysokości pęcznienia mrozowego jedynie od średniej ważonej zawartości frakcji iłowej i pyłowej jest sporym uproszczeniem. Autorka sama wcześniej wskazywała na istotną zależność wielkości wysadzin od stopnia wilgotności.

Mimo zgłoszonych wątpliwości rozdziały 13 i 14 oceniam dobrze, gdyż autorka potrafiła dokonać syntezy uzyskanych rezultatów i zaobserwować istotne tendencje, na które wskazują otrzymane wyniki.
Rozdział 15 recenzowanej rozprawy dokonuje podsumowania zarówno części teoretycznej jak i eksperymentalnej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że autorka stara się wyjaśnić otrzymane wyniki badań wcześniejszymi teoriami innych autorów i robi to w sposób przekonywujący. Szkoda, że autorka nie przedstawiła żadnych

propozycji dalszych badań, ani żadnych perspektyw rozwoju zagadnienia. A takich nasuwa się wiele, jak choćby sprawdzenie dla innych gruntów i na znacznie większej próbie zależności zaproponowanych w rozdziale 16.

Spis literatury, oznaczony jako rozdział 16, zawiera 101 pozycji cytowanych w tekście. W spisie literatury brak jest pracy Burnsa, do której autorka odnosi się w podrozdziale 7.2.

3. Uwagi natury stylistyczno-redakcyjnej:

- W rozprawie powinien znaleźć się spis najważniejszych symboli.
- Autorka w kilku miejscach używa sformułowania „jak wykazano" odnosząc się do wcześniejszych, zaczerpniętych z literatury, fragmentów pracy (np. str. 34). W takiej sytuacji lepiej byłoby użyć sformułowania „jak wskazano".
- Str. 35 „transport wody.....przemieszcza się..." sformułowanie niezręczne stylistycznie.
- Str. 42, powinno być „...wody porowej..." zamiast „...wody porowatej"
- Str. 54, „...w związku z czym powstały kolejne metodyki badan...", raczej „metody badań"
- Str. 55, „Żadna z ....metod nie zawiera sposobu rozwiązania badań..." sformułowanie niezręczne stylistycznie.
- Str. 65, ...formowano próbki za pomocą Proctora...", raczej „aparatu Proctora".

4. Ocena pracy

Recenzowana praca dotyczy zagadnienia aktualnego i jednocześnie bardzo ważnego dla praktyki geotechnicznej. Chciałbym też podkreślić, że rozprawy doktorskie oparte w całości na badaniach doświadczalnych nie są zjawiskiem częstym w polskiej geotechnice. Wymagają one na ogół skompletowania oryginalnego stanowiska badawczego, zawierającego różnego rodzaju nietypowe komponenty. Budowa odpowiedniego stanowiska i jego testowanie zajmuje zwykle bardzo dużo czasu (w przypadku tej pracy były to cztery lata). Co więcej rezultaty badań są trudne do przewidzenia i niekoniecznie muszą potwierdzać koncepcje badacza. Tym większe uznanie mam dla autorki niniejszej rozprawy, która podjęła te wyzwania i dobrze się z nich wywiązała osiągając ciekawe rezultaty i stawiając interesujące hipotezy naukowe.

W ramach realizacji pracy doktorskiej pani mgr inż. Kinga Witek opracowała skomplikowane stanowisko badawcze składające się z wielu elementów. Stanowisko to musiało zostać odpowiednio wytestowane i skalibrowane do przeprowadzenia badań opisanych w rozprawie. Ponadto należało opracować pewien program badań, który doprowadził autorkę do uzyskania ciekawych wniosków poznawczych. Uważam, że skonstruowanie opisanego stanowiska badawczego oraz opracowanie przedstawionej metody badań zasługuje na wysoką ocenę.

Jeśli chodzi o cele badań, które autorka sformułowała w rozdziale 2 i które przytoczyłem na początku recenzji, to według mojej oceny cele te w zasadzie zostały osiągnięte w odniesieniu do badanych gruntów.

Część wyników uzyskanych przez autorkę potwierdziła obserwacje autorów wcześniejszych publikacji. To świadczy też o właściwym przygotowaniu stanowiska badawczego i o wiarygodnym przebiegu całych badań.

Dlatego uważam, że autorka podjęła oryginalne zagadnienie badawcze i uzyskała interesujące rezultaty.

Praca jest napisana w sposób przejrzysty i dobrze zorganizowany. Przyjmowane założenia są jasno formułowane i dobrze skomentowane.
Szkoda natomiast, że autorka nie pokusiła choćby o próbę sformułowania konstytutywnego modelu zjawiska, który korespondowałby z wynikami przeprowadzonych eksperymentów. Taki model mógłby służyć przewidywaniu wyników, których badania nie obejmowały i dawałby być może interesujące perspektywy kontynuacji badań.
Powyższe uwagi nie wpływają jednak na moją wysoce pozytywną opinię o recenzowanej rozprawie.

5. Wniosek końcowy

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym, z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, i wnioskuję: o dopuszczenie mgr inż. Kingi Witek do publicznej obrony rozprawy pt. „Analiza wpływu zawartości frakcji pyłowej i iłowej na procesy zamarzania gruntów drobnoziarnistych".

Wojciech Puła