

Poznań 17.11.2024 r.

Dr hab. inż. Jędrzej Wierzbicki, prof. UAM
Pracownia Geoinżynierii i Sedymentologii
Instytut Geologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. Bogumiła Krygowskiego 12, 61-680 Poznań

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Osińskiego

pt.

**“THE INFLUENCE OF WATER SATURATION STATE OF SOIL ON SLOPES STABILITY CONDITION”
(Wpływ stanu nasycenia gruntu wodą na warunki stateczności skarp)**

Niżej przedstawiona recenzja została opracowana w związku z pismem prof. dr hab. inż. Eugeniusza Kody, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, z dnia 11 października 2024 r, informującym o powołaniu mojej osoby na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr. inż. Piotrowi Osińskiemu.

1. Przedmiot oceny

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej przygotowanej przez mgr. inż. Piotra Osińskiego w j. angielskim pt. „THE INFLUENCE OF WATER SATURATION STATE OF SOIL ON SLOPES STABILITY CONDITION”. Rozprawa ma formę monografii zawierającej przegląd stanu wiedzy, program i metodykę badań własnych oraz ich wyniki wraz z analizą, w zakresie oceny właściwości geotechnicznych gruntów nienasyconych w kontekście zmian wilgotnościowych i ich wpływie na stateczność zboczy.

2. Ocena tematu i celu pracy

Stabilność skarp i zboczy jest jednym z podstawowych problemów geotechnicznych podejmowanych przez badaczy na całym świecie. Osuwiska, jako efekt utraty stateczności przez masy ziemne, są zjawiskiem niezwykle niebezpiecznym, powodującym co roku katastrofy o wielkiej skali oraz licznych ofiarach w ludziach. Jednym z głównych czynników utraty stateczności jest wpływ wody na zmianę warunków geotechnicznych występujących w obrębie zbocza, tak poprzez oddziaływanie ciśnienia spływowego infiltrujących wód jak i zmianę stanu nasycenia gruntu wodą. Właśnie tym drugim aspektem zaję się w swej rozprawie Doktorant, analizując wpływ zmian wilgotnościowych na zmianę właściwości wytrzymałościowych wybranych gruntów. Aspekt ten jest niezwykle ważny

szczególnie w kontekście obserwowanych zmian klimatycznych, regionalnego wzrostu sumy opadów oraz gwałtowności ich zachodzenia. Umiejętność prognozowania wpływu zmian wilgotnościowych, także przy pomocy metod teledetekcyjnych, co trafnie zauważ Doktorant, może stanowić klucz do bezpiecznego funkcjonowania obszarów zamieszkałych i wykorzystywanych przez człowieka. Można co prawda dyskutować, czy wyodrębnienie jedynie kategorii skarp („*engineering slopes*”) a pomijanie kategorii zboczy naturalnych, rzeczywiście odzwierciedla najbardziej pilne potrzeby analizy ruchów masowych (vide obszar Polski południowej) w kontekście zmian klimatycznych. Można mieć również zastrzeżenia do przyjęcia jedynie „*worst scenario*” raportów IPCC (które to scenariusze, jak się okazuje niekoniecznie się sprawdzają), ale trzeba zauważyć, że temat rozprawy i jego kontekst jest ważny i aktualny.

Autor postawił przed sobą główny cel – ocenę, czy zmiany klimatyczne, a w szczególności opady mogą wpływać na długoterminową stabilność konstrukcji ziemnych, w kontekście analizy hydro-mechanicznej wybranego materiału gruntowego. Jednocześnie postawił hipotezę, że jedynie interdyscyplinarne podejście analityczne może być kluczem do zrozumienia zachowania się zboczy poddanych zmiennym warunkom pogodowym. Do jej sprawdzenia podjął się realizacji szeregu celów podrzędnych:

- określenia wpływu zmian klimatycznych na stateczność ziemnych konstrukcji hydrotechnicznych w warunkach ekstremalnych opadów,
- zbadania właściwości hydromechanicznych wybranych gruntów (piasku drobnego i gliny lodowcowej) w warunkach niepełnego nasycenia wodą,
- określenia wpływu cykli nawodnienie-odwodnienie na wartość ciśnienia ssania,
- określenia właściwości gruntów nienasyconych w zależności od zmian wilgotności i porowatości,
- przeprowadzenia numerycznych obliczeń stateczności w warunkach symulowanych opadów deszczu,
- zaproponowanie interdyscyplinarnego podejścia do długoterminowej prognozy geotechnicznej z uwzględnieniem ekonomicznego aspektu zabezpieczenia stateczności skarp.

Realizacja celu wymagała od Doktoranta zgłębienia mechaniki gruntów nienasyconych oraz przyjęcia określonej metodyki badawczej i przeprowadzenia badań laboratoryjnych oraz analiz numerycznych, co zostało dokonane w kolejnych częściach rozprawy.

Mając powyższe na uwadze, stwierdzam, że zarówno cele i zakres pracy oraz hipoteza badawcza zostały przyjęte prawidłowo, mając do tego istotne znaczenie utylitarne.

3. Struktura i treść pracy wraz z jej oceną

Rozprawa składa się z następujących części:

- streszczenia (w języku polskim i angielskim) – 4 strony,
- spisu treści,
- kolejnych rozdziałów:
 - 1. Introduction (Wprowadzenie) – 8 stron,
 - 2. Literature review (Przegląd literatury) – 27 stron,
 - 3. Soil materials used in the study (Materiał wykorzystany do badań) – 5 stron,

- 4. Laboratory sample preparation methodology (Metodyka przygotowania próbek do badań) – 3 strony,
 - 5. Soil Water Retention Curve determination for sandy clay (Określenie krzywych retencji iłu piaszczystego) – 12 stron,
 - 6. Soil Water Retention Curve determination for granular material (Określenie krzywych retencji gruntu gruboziarnistego) – 6 stron,
 - 7. Mechanical behaviour of the sandy clay soil (Mechaniczne właściwości iłu piaszczystego) – 31 stron,
 - 8. Mechanical behaviour of fine sand used in the study (Mechaniczne właściwości piasku drobnego wykorzystanego w badaniach) – 22 strony,
 - 9. Numerical modeling of an experimental slope (Modelowanie numeryczne skarpy eksperymentalnej) – 15 stron,
 - 10. Final conclusions and further research recommendation (Konkluzje końcowe i rekomendacje do dalszych badań) – 5 stron,
- spisu literatury -168 pozycji,
 - spisu ilustracji,
 - spisu tabel.

Łącznie praca zawiera 166 ponumerowanych stron.

Strukturę pracy należy uznać za poprawną, poszczególne treści następują logicznie po sobie, z drobnymi wyjątkami, nie wynikającymi jednak z błędów struktury a jedynie rozmieszczenia odpowiednich treści w poszczególnych rozdziałach.

W **rozdziale 1** Doktorant przedstawił kontekst klimatyczny w zachowaniu stabilności zboczy, wskazując na ważną rolę infiltrującej wody opadowej we właściwościach mechanicznych gruntów budujących stok. Odwołał się do ogólnodostępnych źródeł dotyczących prognoz klimatycznych, lecz nie wskazał niestety na ile obserwowane zmiany już obecnie wpływają na częstość i skalę zachodzących ruchów masowych. Związek wydaje się dosyć oczywisty, ale brakuje wsparcia na danych statystycznych, lub choćby odniesienia się do prób zbadania takiej korelacji. Jest to o tyle istotne, że konstatacja istnienia silnej korelacji pomiędzy wzrostem opadów a wzrostem zagrożeń ruchami masowymi stanowi jedną z osi pracy.

W rozdziale tym przedstawiono również cel główny i cele podrzędne rozprawy oraz przyjętą hipotezę badawczą.

Rozdział 2 zawiera przegląd literatury związanej zarówno z tematyką badań gruntów nienasyconych jak i analizy stateczności oraz zmian klimatycznych. Już w tym miejscu rozprawy można zauważyć, że główne zainteresowania Doktoranta związane są z pierwszą z tych kwestii i właśnie na mechanikę gruntów nienasyconych położony został w pracy główny nacisk. Pozostałe kwestie (szczególnie dotyczące zmian klimatycznych) potraktowane są nieco pobieżnie, a analiza stateczności jest szerzej omówiona dopiero na końcu pracy. Stanowi to w moim odczuciu pewien mankament metodyki analizy stanu wiedzy, choć nie rzutuje ostatecznie na osiągnięte rozwiązanie.

W sposób kompletny opisano modele konstytutywne gruntu, wskazując w jaki sposób uwzględnia się w nich fakt niepełnego nasycenia porów wodą. Doktorant odwołał się również do mechaniki stanu krytycznego i wskazał w jaki sposób ciśnienie ssania wpływa na zmianę tensora naprężenia. W tym kontekście zaprezentował trzy główne modele gruntu nienasyconego: Barcelona Basic Model,

Wheeler'a i Gallipoli. W rozdziale tym został przeprowadzona dosyć szeroka dyskusja wspomnianych wyżej modeli, która pozwoliła wskazać Autorowi na pewnie mankamenty modelu BBC (jak pozornie pełne nawodnienie gruntu przy wartościach $u_a = 0$) i dodatkowe możliwości, które daje zastosowanie modeli Wheeler'a i Gallipoli (jak uwzględnienie historii cykli nawodnienie-odwodnienie, czy zmian objętościowych w wyniku oddziaływania ssania). W odniesieniu do założonych celów badawczych warto podkreślić trafny dobór modeli Wheeler'a i Gallipoli do prowadzonych analiz.

Doktorant słusznie zauważył, że wykorzystanie mechaniki gruntów nienasyconych w badaniach eksperymentalnych musi zakładać pomiar ciśnienia ssania, a tym samym przyjęcie jakiejś techniki jego pomiaru. W rozdziale 2 zamieszczono zatem również krótki ale kompletny opis czterech wybranych metod pomiaru: za pomocą mierników ciśnienia, aparatu płytowego, przetworników ciśnienia oraz metodą „axis translation”. Pomimo wielu szczegółów technicznych, w tym miejscu brakuje nieco krytycznego podejścia do poszczególnych metod, wskazania różnic pomiędzy nimi, co z kolei może stanowić cenny element podczas doboru metod badawczych. Nawet zakładając, że z jakichś powodów badania własne wykonano niekoniecznie z zapewnieniem najlepszej metody pomiaru, ale np. ze względu na dostępności danej metody, taka dyskusja na podstawie literatury stanowiłaby ważny element uwiarygodnienia ostatecznych wyników.

Jak wcześniej wspomniano, w tym rozdziale obecna jest również dyskusja nad wpływem opadów atmosferycznych na powodowanie ruchów masowych. Oprócz powszechnie branych pod uwagę czynników wpływu, Doktorant zwrócił uwagę na ważny aspekt prędkości spływu wody po zboczu i wpływu retencji wody na wzrost zagrożenia osuwiskami. W tym kontekście jako główny element podlegający ocenie wysuwana jest nie tyle suma opadów, co ich retencja w gruncie. Uwzględnienie takiej zmiennej w analizie wiąże się z koniecznością pomiarów zmian wilgotnościowych gruntu, co z kolei zdaniem Doktoranta można prowadzić metodami teledetekcyjnymi. Pomysł obiecujący, choć kwestia możliwości efektywnego prowadzenia takich pomiarów nieco dyskusyjna.

W **rozdziale 3** Autor przedstawia materiał (grunt) wykorzystany do badań. Doktorant zdecydował się słusznie na analizę dwóch rodzajów gruntu: gruboziarnistego (piasku drobnego) i drobnoziarnistego (iłu piaszczystego), słusznie spodziewając się odmiennej charakterystyki w wyniku zmian wilgotnościowych takich gruntów. Przedstawiono opis granulometryczny gruntów i ich podstawowe właściwości fizyczne, łącznie z maksymalną gęstością objętościową uzyskaną w metodzie Proctora. Warto też nadmienić, że grunt drobnoziarnisty (pozyskany jako naturalna glina lodowcowa) został do celów badawczych zmodyfikowany granulometrycznie poprzez usunięcie dosyć licznej frakcji zwirowej. Spowodowało to, że pierwotnie grunt uznany jako nieaktywny koloidalnie stał się gruntem normalnie aktywnym. Wykonanie badań Proctora miało o tyle znaczenie, że jak zaznaczono w rozdziale 4, próbki do badań formowano właśnie w aparacie Proctora. W odniesieniu do piasku drobnego nasuwa się natomiast pytanie o metodę określenia maksymalnego i minimalnego wskaźnika porowatości, ze względu na powszechnie zauważane różnice w wynikach uzyskiwane zgodnie z różnymi standardami.

Ponieważ Doktorant założył badanie prób rekonstruowanych, to w **Rozdziale 4** opisuje przyjętą metodykę przygotowania prób. W przypadku gruntu spoistego jest ona określona dosyć szczegółowo, a więc zapewniając możliwość odtworzenia badań, niestety w przypadku gruntu piaszczystego Autor odwołuje się do późniejszych rozdziałów, jako zawierających opis formowania prób w zależności od metody dalszego badania. Co prawda jest sprawą oczywistą, że formowanie prób z gruntu niespoistego jest procesem problematycznym i niejako związanym z techniką dalszego badania gruntu, ale w moim odczuciu, taki opis powinien zostać umieszczony w części metodycznej a nie wynikowej. To

spostrzeżenie wskazuje na szerszy problem, który zauważyłem w rozprawie – brak przedstawienia kompletnej metodyki badawczej w jednym miejscu. Taki element rozprawy naukowej pozwala z jednej strony na spójną kontrolę przez czytającego zasadności przyjętej metodyki badawczej – elementu podlegającego ocenie w każdej pracy naukowej, z drugiej nadaje pewien logiczny rytm poczynaniom badacza, wskazując, że nasze postępowania nie były przypadkowe, ale wynikały z jakiś przemyśleń. W niniejszej dysertacji mamy niestety bardziej do czynienia z kompletnymi ale fragmentarycznymi i rozłożonymi w całej pracy elementami metodycznymi – jest więc ujęcie lokalne, a brakuje globalnego spojrzenia na całość prac.

Wracając do opisu formowania prób gruntu spoistego, mam pytanie/wątpliwość, czym było powodowane utworzenie aż 6 warstw podczas zagęszczania? Czy zdaniem doktoranta przy takim założeniu nie pojawiła się zbyt duża dysproporcja we właściwościach spodu próbki (warstwa 6 krotnie zagęszczana) i jej wierzchu (warstwa 1 krotnie zagęszczana)? Czy brano to pod uwagę, np. badając próbki obrócone? Sporo pytań, jak do jednego zagadnienia, ale kwestia pewnej standaryzacji przygotowania próbki i świadomości związanych z daną techniką efektów jest kluczowa przy badaniu próbek odtworzonych i odnoszeniu wyników ich badań do gruntów naturalnych.

Rozdział 5 poświęcony jest prezentacji metodyki i wyników pomiarów ciśnienia umożliwiających określenie krzywych retencji SWRC w ile piaszczystym. Doktorant zastosował w tym przypadku dwie metody badania: aparatem płytowym (z wykorzystaniem kalkulacji metodą „*axis translation*”) oraz w aparacie z bezpośrednim pomiarem ciśnienia ssania poprzez czujniki ciśnienia. Opisane zostały procedury badawcze, w tym zwrócono szczególną uwagę na staranne przygotowanie próbki do badania. Przyjęta procedura pozwala stwierdzić, że uzyskano wiarygodne wyniki eksperymentu. Autor zauważył też słusznie, że badanie z wykorzystaniem czujników ciśnienia pozwala na bardziej bezpośrednią czasowo rejestrację ciśnienia ssania. Obok standardowej procedury etapowego pomiaru ciśnienia ssania (w 24h interwałach) zastosował również pomiar ciągły, opracowując w tym celu odrębną metodykę badania. Wyniki wskazują na wyraźne różnice w krzywych retencji uzyskiwanych w aparacie płytowym oraz z wykorzystaniem czujników ciśnienia. Jak zauważa Doktorant różnice te wynikają bardziej z większego o ok. 5% nasycenia próbki wodą w przypadku aparatu płytowego, niż z samego przebiegu krzywej. Jednocześnie zauważalny jest niemal brak różnic pomiędzy wynikami badania z wykorzystaniem bezpośrednich czujników ciśnienia w wersji etapowego i ciągłego pomiaru. W wyniku tego spostrzeżenia Autor zwrócił słuszną uwagę na „ekonomiczną” przewagę metody ciągłego pomiaru – zdecydowanie skracającej czas badania. Wykonane pomiary cyklicznego nawodniania i odwadniania próbki pozwoliły na stwierdzenie wyraźniej różnicy w krzywych retencji w kolejnych cyklach, przejawiające się w osiągnięciu zdecydowanie mniejszej wilgotności gruntu przy ponownym nawadnianiu. Co istotne, w pracy zaprezentowano również historyczne krzywe SWRC, uzyskane przez innych badaczy na podobnym gruncie i za pomocą takiej samej aparatury badawczej. Porównanie ich z wynikami badań Autora pozwala zauważyć dużą zgodność rezultatów oraz zaobserwować pewną prawidłowość, potwierdzającą wcześniejsze spostrzeżenie o różnicy pomiędzy wynikami różnych metod badawczych, a w szczególności metody aparatu płytowego. Różnica ta jest systematyczna i wskazuje, że podczas odwadniania próbki i pomiaru ciśnienia ssania za pomocą czujników, rejestruje się niższe ciśnienia ssania niż w metodzie pośredniej z wykorzystaniem aparatu płytowego.

Określenie krzywych retencji gruntu sypkiego zostało przedstawione w **rozdziale 6**. W tym przypadku do wyznaczenia ciśnienia ssania posłużyło urządzenie wyposażone w pojedynczy czujnik ciśnienia, umieszczony w podstawie próbki. Całość aparatu została tak zaprojektowana, aby

umożliwiać ciągły pomiar zmian masy badanej próbki, a tym samym jej wilgotności w trakcie odwadniania. Pozwoliło to Autorowi na uzyskanie ciągłych krzywych retencji w cyklach nawadnianie-odwadnianie dla jednej próbki. W tym też rozdziale przedstawiono metodykę przygotowania próbki, wskazując, że w wyniku standardowego ubijania uzyskiwano określone gęstości materiału. Niestety, brak bliższych informacji na temat standardów tej procedury, np. krzywej kalibracyjnej zagęszczenia, wilgotności przy jakiej zagęszczanie prowadzono. Bez tych informacji trudno ocenić jakość rekonstrukcji próbki i tym samym powtarzalność wyników. Natomiast warto podkreślić, że jakość i możliwość samego pomiaru sprawdzono wcześniejszą procedurą testową z wykorzystaniem próbek piasku pylasto-ilastego, jako gruntu referencyjnego. Pozwoliło to na skalibrowanie urządzenia pomiarowego i określenie rzeczywistego zakresu pomiarowego przygotowanego zestawu. Podczas omawiania wyników (uzyskanych krzywych retencji) pojawia się w tekście informacja o tym, że przy różnych gęstościach uzyskiwano próbki o różnych wilgotnościach. Aczkolwiek uwaga ta budzi pewien niepokój jeśli chodzi o adekwatność uzyskiwanych wyników (różne wilgotności początkowe), to pewnym wyjaśnieniem może być późniejsza obserwacja, świadcząca o nieznacznym wpływie zmian wilgotności na tempo zmian ciśnienia ssania. Jak można zauważyć, zależność między ciśnieniem ssania a czasem utraty wilgotności może być z powodzeniem aproksymowana funkcją liniową. Jakkolwiek Autor zauważa, że wprowadzona metodyka pomiaru daje porównywalne wyniki do powszechnie stosowanej metody „*axis transition*” w aparacie trójosiowego ściskania, to różnice w stosunku do niej są jednak zauważalne (szczególnie jeżeli wziąć pod uwagę wartość wskaźnika porowatości badanych gruntów). Bez wątplenia jednak metoda zastosowana przez Doktoranta jest metodą szybszą.

W rozdziale 7 przedstawiono badania wytrzymałościowe gruntu spoistego, wykonane w aparacie trójosiowego ściskania. Badania te wykonano w dwóch wersjach – na próbkach nawodnionych i próbkach nienasyconych, przy czym badano próbki odtworzone przy trzech różnych wilgotnościach. Wymagało to zastosowania zarówno odmiennej metodyki badawczej, jak i różnych urządzeń, stąd Autor wyodrębnił prezentacje obydwu badań. Trochę myślące w tym kontekście jest moim zdaniem zatytułowanie rozdziału „*Saturated triaxial tests*”, co doskonale odnosi się do pierwszej części, czyli badań gruntów nasyconych, ale już gorzej do fragmentu w którym opisywane są badania gruntu nienasyconego. Próbki nasycone były badane w standardowej aparaturze, z zachowaniem typowej procedury CD, przy trzech poziomach konsolidacji i kontroli nawodnienia poprzez wartość parametru B Skemptona. Uzyskane wyniki pozwoliły na wiarygodne scharakteryzowanie zachowania się gruntu w warunkach nasycenia. Warto zaznaczyć, że badania były prowadzone aż do osiągnięcia dużych odkształceń, nawet do 40%, tak by osiągnąć stan krytyczny. Jakkolwiek nie we wszystkich przypadkach identyfikacja tego stanu była satysfakcjonująca, Doktorant słusznie zaobserwował, że nachylenie linii stanu krytycznego wydaje się być niezależne od wilgotności początkowej próbek (w trakcie ich formowania). Osobne badania tego samego gruntu przeprowadzono w aparacie z podwójną komorą, umożliwiającą badanie próbek w warunkach nienasyconych. Również i w tym przypadku zastosowano podobny schemat naprężeń przy badaniu próbek. Przedstawiona szczegółowo procedura wraz z dokumentacją badawczą pozwalają sądzić, że uzyskane wyniki są w pełni wiarygodne. Autor zauważył, że próbki o niższej wilgotności początkowej (a więc wyższych wartościach ciśnienia ssania) ulegają ścięciu przy wyższych wartościach dewiatora naprężeń. Równocześnie jednak trafnie stwierdził, że efekt ten może wynikać z faktu większej gęstości próbek o niższej wilgotności, uzyskiwanej w trakcie ich formowania. To słuszna uwaga, która odnosi się także do moich wątpliwości dotyczących przyjętej metodyki rekonstruowania próbek iłu piaszczystego. W mojej opinii właśnie dyskusyjna metodyka formowania próbek uniemożliwiła w dalszej części badań uzyskanie

jednoznacznych wyników (co nie znaczy, że bezwartościowych). Na pewno wartościową konkluzją jest stwierdzenie, że nie zaobserwowano wpływu tego, czy próbka jest nawadniana, czy odwadniana, na charakterystykę wytrzymałościową gruntu.

Rozdział 8 obejmuje badania gruntu niespoistego w stanie niepełnego nasycenia wodą. Autor wykorzystał w swoich badaniach zaawansowany system trójosiowego ściskania, umożliwiający precyzyjny pomiar objętości wody i powietrza w próbce. W tym kontekście bardzo istotne są jego spostrzeżenia dotyczące wpływu temperatury otoczenia na pomiary objętości powietrza. Nawet niewielkie zmiany temperatury zauważalnie wpływały na wyniki pomiarów, stąd konieczność zapewnienia w trakcie badań maksymalnie stabilnych warunków w laboratorium. Próbki piasku drobnego były formowane metodą ubijania, z wykorzystaniem formy ustawionej bezpośrednio na postumencie komory badawczej. Oczywiście, jak zauważa sam Autor, metoda ta pozwala na uzyskanie próbki niejednorodnej, ale jednocześnie pozwala bardziej świadomie kontrolować gęstość próbki przy określonej wilgotności, co w tych badaniach miało istotne znaczenie.

Badania rozpoczęto od określenia reakcji próbek na izotropowe obciążenie w warunkach różnych ciśnień ssania i przy różnych wilgotnościach początkowych. Ten eksperyment doprowadził Doktoranta do ciekawych wniosków, wynikających z obserwacji dodatkowych zmian objętościowych wynikających z zadanego podciśnienia. Jednocześnie wydaje się (mała liczba prób przeszkadza w bardziej kategorycznym stwierdzeniu), że istnieje pewien związek pomiędzy wilgotnością początkową gruntu a końcową wartością wskaźnika porowatości uzyskiwaną po zaniknięciu zmian objętościowych.

W dalszej kolejności Przedstawiono wyniki badań wcześniej „skonsolidowanych” próbek w warunkach ściskania anizotropowego. Ściskanie próbek nie były prowadzone do osiągnięcia stanu krytycznego, lecz pozwoliły na jednoznaczne stwierdzenie momentu ścięcia. Autor słusznie zauważył, że wyniki jednoznacznie wskazują na wzrost wytrzymałości na ścinanie w miarę zwiększania ciśnienia ssania oraz naprężenia netto. Brak natomiast wpływu ssania na wartości kąta tarcia wewnętrznego. Obserwacja krzywych zależności q od ε_a pozwoliła również na przyjęcie wniosku, że wzmacniający wpływ ssania zanika przy większych odkształceniach, sięgających 10% (oczywiście już po osiągnięciu maksimum wartości dewiatora). Jednocześnie nie stwierdzono związku pomiędzy charakterystyką wytrzymałościową gruntu a jego początkową wilgotnością podczas formowania. Niestety ta konkluzja oparta jest jedynie na pojedynczej parze wyników.

Niewątpliwie badania przedstawione w tym rozdziale dały ciekawe i ważne rezultaty, wskazując na charakter zależności zmian wilgotnościowych i właściwości próbki, tak fizycznych jak i wytrzymałościowych. Istotnym stwierdzeniem jest brak wpływu tych zmian na kąt tarcia wewnętrznego, a więc efekt wzmocnienia jest czysto naprężeniowy i zapewne zanika po ponownym nawodnieniu gruntu. Trochę brakuje niejako ciągu dalszego eksperymentu, pozwalającego na potwierdzenie tego przypuszczenia, ważnego właśnie w kontekście analizowanych w pracy cyklicznych zmian wilgotnościowych i obserwacji efektu quasi-prekonsolidacji w osadach poddanych cyklicznym zmianom poziomu wód gruntowych. Powstaje też pytanie, na ile efekt wzmocnienia jest powodowany jedynie podciśnieniem występującym w próbce, a na ile zmianą gęstości gruntu w wyniku zastosowanego procesu „konsolidacji”.

W rozdziale wyraźnie brakuje wstępu metodycznego, choćby (a może najlepiej) w postaci schematu postępowania. Powoduje to, że niektórych elementów metodyki trzeba się domyślać, choć zapewne dla Autora były oczywiste, jako bezpośredniego wykonawcy badań.

Rozdział 9 rozpoczyna się od obszernej i dobrze udokumentowanej na podstawie literatury, analizy wpływu opadów deszczu na utratę stabilności przez zbocza. Ważnym i ciekawym wnioskiem zaprezentowanym przez Autora jest dostrzeżenie korelacji nie tylko z jednorazowym, gwałtownym deszczem, ale także wielodniowymi opadami zmieniającymi stosunki wodne w obrębie zbocza. Na tej podstawie Doktorant słusznie zauważył, że ilościowa ocena tych zależności musi zawierać zarówno elementy analizy hydrologicznej jak i mechanicznej gruntu, połączone ze sobą. Wskazał również istniejące w literaturze próby opisu tego zjawiska, pozwalające zaobserwować na ile w różnych gruntach czas infiltracji wpływa na spadek stateczności zbocza. Samemu podchodząc do opisu zjawisk zachodzących podczas infiltracji wody zastosował znane z literatury rozwiązania, opierające się na równaniu ruchu wody Darcy. Podobnie analizę stateczności przeprowadził w sposób standardowy, poprzez ocenę wytrzymałości gruntu w ramach kalkulacji współczynnika bezpieczeństwa i klasycznych rozwiązań dostępnych w geotechnicznych programach obliczeniowych. Do samodzielnej analizy procesu zmiany warunków stateczności wykorzystał metody numeryczne, a dokładnie metodę elementów skończonych i oprogramowanie GeoStudio, umożliwiające łączną analizę obydwu aspektów. Skonstruował model zbocza eksperymentalnego o wysokości 20 m i nachyleniu 2:1, zbudowanego z jednorodnego gruntu, odpowiadającego dwóm gruntem wykorzystanym w badaniach laboratoryjnym. Odnosząc to do wcześniejszych analiz dostępnych w literaturze, warto zaznaczyć, że badania Doktoranta istotnie uzupełniają stan wiedzy, zaczynając się tam, gdzie kończą np. wyniki uzyskane przez Handhana i Schweigera (2011), czyli na glinach piaszczystych, kierując się w stronę utworów bardziej przepuszczalnych. Jest to o tyle ważne, że obserwuje się wyraźny związek pomiędzy wzrostem zdolności filtracyjnych gruntu a podatnością zbocza na utratę stateczności w wyniku infiltracji wody. Nowatorskim elementem podejścia Doktoranta do analizy było połączenie wartości parametrów wytrzymałościowych z krzywymi retencji i procesem infiltracji. Było to możliwe dzięki wynikom przeprowadzonych badań laboratoryjnych i pozwoliło na uzyskanie unikatowych wyników z uwzględnieniem m.in. intensywności opadu.

Niestety w tym miejscu muszę zwrócić uwagę na pewne nieuporządkowanie w prezentacji wyników, utrudniające ich odbiór i wnioskowanie. Przedstawienie danych (na wykresach) jest mało czytelne (skala i kolorystyka) a legenda niepełna (wy tłumaczenia ilustracji można się domyślać po lekturze dalszych części tekstu). Niezależnie od tego mankamentu, uzyskane wyniki są wartościowe i wskazują na odmienny rozkład zmian ciśnienia porowego w profilu pionowym w różnych gruntach, w zależności od czasu i intensywności opadu oraz co ważne od wilgotności początkowej gruntu. Co ciekawe, wpływ opadu na grunty sypkie wydaje się proporcjonalnie mniejszy niż na grunty spoiste (biorąc pod uwagę zmianę wartości współczynnika bezpieczeństwa). Ważnym spostrzeżeniem jest również określenie ram czasowych największego prawdopodobieństwa utraty stateczności na okres około doby po opadzie (niezależnie od rodzaju gruntu) i ponowny wzrost wartości współczynnika bezpieczeństwa w dalszym okresie.

W **rozdziale 10** przedstawiono podsumowanie dokonań oraz perspektywę dalszych badań. Szkoda, że Autor nie zdecydował się na bardziej wyraziste wskazanie wniosków wynikających z podsumowania bezpośrednio uzyskanych rezultatów. Finalne wnioski są elementem dosyć obszernego podsumowania (czyli w pewnym sensie powtórzenia, przypomnienia wcześniejszych treści) i w moim odczuciu zostały zbyt słabo uwypuklone.

Spostrzeżenia dotyczące kierunków dalszych w zakresie tematyki objętej pracą wynikają z krytycznego spojrzenia Doktoranta na własne dokonania. Cennym jest zauważenie konieczności sprawdzenia uzyskanych rezultatów w przypadku rzeczywistego obiektu i uwzględnienia wpływu zmian

temperaturowych oraz oddziaływania biologicznego na opisywane zjawisko. Pomimo zatem, że założeniem pracy było podejście interdyscyplinarne, sam Autor zauważył, że zagadnienie jest na tyle złożone iż wymaga jeszcze bardziej szerokiego zakresu czynników do uwzględnienia.

Praca od strony edycyjnej budzi moje drobne zastrzeżenia. Dotyczą one pojedynczych, na szczęście, braków w tekście oraz nieco częściej niewystarczającej jakości ilustracji. W przypadku ilustracji powielanych z innych źródeł nie zawsze ich jakość jest satysfakcjonująca (może należało je „przerysować?”), a uwaga ta dotyczy również niektórych równań, które nie wiadomo dlaczego są kiepskimi skanami. W przypadku kilku ilustracji brakuje również pełnej legendy, co szczególnie odczuwa się w części analitycznej, gdy trzeba się domyślać niektórych oznaczeń (fig. 9.7, 9.8). Zauważa się również brak jednolitego spisu wykorzystanych w treści oznaczeń. W ogólności jednak stwierdzam, że rozprawa w całości zawiera wszystkie niezbędne i wymagane elementy, a jej strona edytorska jest satysfakcjonująca.

4. Główne osiągnięcia

Z racji postawionego celu za główne osiągnięcie pracy należy uznać udowodnienie, że na zamianę wartości współczynnika bezpieczeństwa zbocza ma wpływ charakter opadu. W połączeniu ze związkiem intensywności opadu z zachodzącymi zmianami klimatycznymi, należy więc uznać, że hipoteza badawcza została zweryfikowana pozytywnie, a cel badań osiągnięty.

Doktorantowi udało się stworzyć wieloczynnikowy model zależności, uwzględniający zarówno aspekty hydrauliczne jak i mechaniczne gruntu budującego zbocza. Ważnym aspektem tego modelu jest uwzględnienie wymiaru czasu i wskazanie jego niejednoznacznego oddziaływania na stateczność zbocza.

W tym kontekście bardzo interesującym osiągnięciem jest stwierdzenie przedziału czasu, w którym dochodzi do minimalizacji wartości współczynnika bezpieczeństwa skarpy. Wniosek ten może mieć bardzo ważne implikacje praktyczne, wskazując newralgiczny moment i tym samym ułatwiając monitoring i zabezpieczenie zboczy.

Kolejnym wartym podkreślenia wnioskiem płynącym z badań, jest istotny wpływ początkowej wilgotności gruntu na przebieg zmian wytrzymałościowych. Podkreśla to obserwowaną już wcześniej zależność pomiędzy czasem opadu, a nawet opadami w okresach poprzedzających deszcz nawalny, z utratą stateczności.

Obok tych osiągnięć rozprawy, odnoszących się bezpośrednio do postawionego celu, na uwagę zasługują również pewne spostrzeżenia płynące bezpośrednio z wykonanych badań laboratoryjnych. Na przykład stwierdzenie związku pomiędzy ciśnieniem ssania, oddziaływaniem obciążenia izotropowego a zmianami struktury gruntu gruboziarnistego (piasku drobnego).

5. Najważniejsze uwagi i wątpliwości

Najbardziej ogólna uwaga krytyczna odnosi się do przyjętego przez Doktoranta sposobu prezentacji treści, ma więc charakter głównie formalny, choć ze względu na wpływ tego mankamentu na odbiór i kompletność rozprawy doktorskiej po części i merytoryczny. Autor pracy przyjął zasadę, że nie całość metodyki prezentowana jest w jednym miejscu rozprawy, na jej początku. Poszczególne

elementy metodyki pojawiają się w różnych miejscach pracy, niejako przy okazji prezentacji wyników i wniosków częściowych z poszczególnych etapów badań. Podobnie ma się rzecz z prezentacją dokonań literaturowych i to pomimo osobnego rozdziału „Literature review”. Można oczywiście przyjąć taki schemat prezentacji ale utrudnia on uchwycenie logicznego następstwa rzeczy, a niekiedy powoduje niezrozumienie niektórych kroków analizy i powstanie u czytającego prostego pytania „dlaczego?”. Nie zawsze pełna odpowiedź znajduje się w pracy (pewne kroki kwitowane są jednym zdaniem), czasami trzeba się pewnych rzeczy domyślać, a niekiedy pojawiają się nieścisłości. Na przykład chciałbym się dowiedzieć dlaczego w badaniach trójosiowego ściskania gruntu spoistego nie wyznaczono parametrów ϕ i c , skoro w analizie stateczności wykorzystywane są właśnie te parametry? Albo, dokładnie w jaki sposób w analizie stateczności zbrocza wykorzystano cykliczne krzywe retencji, uzyskane takim nakładem pracy? Nie do końca rozumiem również czym kierowano się przyjmując takie a nie inne „scenariusze”, które pojawiają się niespodziewanie w dyskusji rozdziału 9.3? Tego rodzaju uwag można byłoby w wielu miejscach uniknąć prezentując całość metodyki, nawet w formie skróconej ale kompletnej (od idei po rezultat) w jednym miejscu.

Jak wspominałem w poprzednim rozdziale, mam również ogólne uwagi do jakości materiału ilustracyjnego. W zdecydowanej większości przypadków jest ona wysoka, ale zdarzają się ilustracje nieczytelne lub nie w pełni opisane (np. fig. 2.9, fig. 9.7).

Mam również kilka wątpliwości i uwag szczegółowych oraz pytań dyskusyjnych, które przedstawię w następujących punktach:

1. Czy zagęszczanie iltu piaszczystego w 6 kolejnych warstwach nie wpłynęło na silne zróżnicowanie właściwości fizycznych próbki gruntu wzdłuż jej osi?
2. Jaki jest zasięg głębokościowy metod teledetekcyjnych, których zastosowanie do zmian wilgotnościowych widzi Doktorant?
3. Które to są rysunki fig. 4, fig. 5, fig. 9 przywołane w tekście na stronach 59 i 63?
4. Czy któreś z rozwiązań technicznych lub metodycznych wykorzystywanych w ramach badań laboratoryjnych były pomysłem i innowacją Autora?
5. Czy badania wykonane w liczbie przedstawionej w pracy pozwalają na wyciągnięcie pewnych wniosków?
6. Czy znane są Doktorantowi dane wskazujące na wzrost zagrożenia ruchami masowymi w naszych szerokościach geograficznych w ostatnich dziesięcioleciach?
7. Jaki jest zdaniem Doktoranta udział zmiany stanu naprężenia a jaki udział przebudowy struktury gruntu w efekcie wzmocnienia i czy można je traktować rozdzielnie?

Prosiłbym Doktoranta, aby w miarę możliwości odniósł się do powyższych zastrzeżeń podczas publicznej obrony rozprawy.

6. Wnioski końcowe

Zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14 marca 2003 r. (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) z późniejszymi zmianami, praca doktorska „*powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (...) oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej (...) oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (...)*”. Jak wynika w przedstawionego powyżej omówienia, Doktorant zaprezentował ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia

badania, w moim odczuciu, w stopniu wystarczającym. Ponadto Doktorant zaproponował oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego o istotnym społecznym i gospodarczym znaczeniu.

Powyższe pozwala mi ocenić przedstawioną rozprawę w sposób pozytywny i wnioskować o dopuszczenie mgr. inż. Piotra Osińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Dr hab. inż. Jędrzej Wierzbicki, prof. UAM