

Politechnika Krakowska
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Tel: [REDACTED], kom. [REDACTED]

E-mail: [REDACTED]

E-mail: [REDACTED]

1.09.2019 r.

dr hab. inż. Andrzej Truty prof. Politechniki Krakowskiej

[REDACTED]

[REDACTED]

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Smyczyńskiego pt.
"Reakcje nawodnionych gruntów niespoistych o niepełnym nasyceniu w warunkach bez odpływu wody z porów"

1. Podstawa opracowania

- Pismo Dyrektora Instytutu Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk, dr hab. inż. Waldemara Świdzińskiego prof. IBW PAN, z dn. 2.05.2019 r., informujące o decyzji Rady Naukowej IBW PAN, z dn. 18.04.2019 r., o powołaniu mojej osoby na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Smyczyńskiego
- Egzemplarz pracy doktorskiej zatytułowanej "Reakcje nawodnionych gruntów niespoistych o niepełnym nasyceniu w warunkach bez odpływu wody z porów"

2. Ogólna charakterystyka pracy oraz ocena trafności wyboru tematyki

Recenzowana praca, napisana w języku polskim, obejmuje 6 rozdziałów głównych, spis wykorzystanych pozycji literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Liczy ogółem 148 stron. Podstawowym zadaniem naukowym jakie zostało rozwiązane przez doktoranta było modelowanie konstytutywne zachowania się gruntów niespoistych o dowolnych stanach początkowych (kontraktywnym lub dylatywnym) w teście ściskania trójosiowego w warunkach bez odpływu wody, przy różnych poziomach nasycenia porów przez wodę. W pracy, doktorant wykorzystał ogólne sformułowanie półempirycznego modelu przyrostowego, sformułowanego w zredukowanej przestrzeni niezmienników naprężeń $q - p$ oraz odkształceń $\varepsilon_v - \varepsilon_q$ ograniczając swoje rozważania do skalarne równania przyrostowego wiążącego przyrost odkształcenia objętościowego z przyrostami odpowiednio efektywnego naprężenia średniego dp oraz przyrostu parametru $d\eta$ definiowanego jako stosunek $\eta = q/p$. Funkcje te opracowane zostały osobno dla przypadku obciążenia jak i odciążenia, dla dwóch różnych gruntów tj. piasku Skarpa oraz wyselekcjonowanych osadów z osadnika Żelazny Most. Dopasowanie tych funkcji do wyników eksperymentalnych obejmujących zarówno fazę izotropowej konsolidacji jak i trójosiowego ściskania zweryfikowanego zostało poprzez porównanie wyników predykcji modelu oraz wyników pomiarów rejestrowanych w w/w testach. Kolejnym zadaniem jakie zostało podjęte przez doktoranta, to próba interpretacji stopnia nasycenia gruntów na bazie pomiarów prędkości propagacji fali podłużnej. Rozwiązanie tych zadań ma duże znaczenie praktyczne dotyczy bowiem szacowania ryzyka wystąpienia zjawiska upłynnienia w gruntach nie w pełni nasyconych wodą, co do niedawna jeszcze uważano jako praktycznie niemożliwe. W tym kontekście uważam, że wybór tej tematyki jest jak najbardziej trafny z uwagi ma jej duże znaczenie poznawcze, a także praktyczne.

3. Analiza poszczególnych rozdziałów pracy

W kolejnych punktach tej części recenzji dokonam analizy zawartości merytorycznej poszczególnych rozdziałów i sformułuję pewne uwagi krytyczne oraz pytania do doktoranta.

Uwagi do stosowanych skrótów i oznaczeń

Na str. 6÷8 autor podał listę stosowanych skrótów i symboli zastosowanych w pracy. Na str. 7 symbol E , nie wiedzieć czemu, został przypisany nieistniejącemu modułowi "Yanga". Kolejne symbole tj. E_{oed} , G , K nie są precyzyjnie określone. Nie wiadomo czy dotyczą modułów siecznych, stycznych, w fazie obciążenia czy fazy odciążenia. Co do reszty nie mam innych uwag.

Analiza i uwagi do rozdziału 1

W punkcie 1.1 autor sprecyzował podstawowe przesłanki jakie skłoniły go do przeprowadzenia badań teoretycznych i doświadczalnych związanych z możliwością wystąpienia zjawiska upłynienia gruntów niespoistych, nie w pełni nasyconych, w warunkach bez odpływu wody z porów. Dodatkowo autor zasygnalizował, iż podejmie próbę oceny stopnia nasycenia gruntów bazując na wynikach badań sejsmicznych dostarczających danych o prędkości propagacji fali podłużnej w profilach pionowych.

Na str.10 autor napisał, że "nawodnione grunty niespoiste (czyste piaski i żwiry... mogą podlegać zjawisku upłynienia". O ile w przypadku piasków trudno się nie zgodzić z autorem o tyle w przypadku żwirów mam już spore wątpliwości. Następnie na tej samej stronie autor używa pojęcia naprężeń zewnętrznych, które są przecież pewną miarą gęstości sił wewnętrznych, a nie zewnętrznych.

Poza tymi uwagami do tej części nie mam innych uwag krytycznych.

W punkcie 1.2 sformułowane zostały cele podstawowe, główna teza pracy oraz ogólny zakres badań teoretycznych i doświadczalnych. Przyjęta teza główna brzmi: "nie w pełni nasycone grunty niespoiste mogą podlegać zjawisku upłynienia, a stopień ich nasycenia determinuje intensywność generacji ciśnienia porowego przy ścinaniu w warunkach bez odpływu". Dwie pozostałe tezy cząstkowe dotyczą wpływu wartości efektywnego naprężenia średniego na wartość parametru Skempton'a oraz możliwości powiązania stopnia nasycenia S_r z wartością prędkości propagacji fali podłużnej. Nie mam uwag krytycznych do tej części pracy aczkolwiek uważam, że autor nadużywa słowa korelacja.

W punkcie 1.3 autor precyzyjnie zdefiniował pojęcie niepełnego nasycenia jako stanu, w którym faza gazowa jest nieciągła. Treść tej części została, krótko, ale dobrze opracowana.

W punkcie 1.4 autor wykonał przegląd pozycji literatury krajowej i zagranicznej dotyczącej przedmiotowego zagadnienia.

W punkcie 1.4.1 dotyczącym zjawiska upłynienia autor, w ostatnim zdaniu, odwołał się do teorii stanu ustalonego nie cytując żadnej pozycji literatury ani nie sygnalizując, w którym miejscu pracy zostanie ona użyta i objaśniona. Jak się okazuje jest to objaśnione w kolejnym punkcie dlatego też dla jasności wyводу należało napisać, iż ta tematyka zostanie wyjaśniona w p. 1.4.2., a nie pozostawiać czytelnika w niepewności.

W punkcie 1.4.2 omówiona została w/w teoria stanu ustalonego oraz wprowadzona definicja parametru stanu Ψ . W praktyce parametr ten dla gruntów o początkowym stanie dylatywnym umożliwia ocenę kąta dylatacji jeśli tylko znana jest wartość efektywnego

kąta tarcia wewnętrznego w stanie krytycznym. Jeśli autor objaśnia pojęcie linii stanu ustalonego na płaszczyźnie $p - q$ odwołując się do rysunku 1.8 to jak wyjaśnić, że punkty przegięcia 3 ścieżek naprężeń efektywnych nie układają się na żadnej linii prostej? Co więcej przyjmując, że na rys. 1.8 mamy ścieżki naprężeń efektywnych dla gruntów w pełni nasyconych wodą to początkowa faza tych ścieżek dla materiału izotropowego powinna podążać równolegle do osi q tym czasem większość tych ścieżek od razu odchyła się w prawo, co jedynie da się wytłumaczyć anizotropią cech sprężystych ośrodka. Na str. 24 autor pisze, że na skutek dyktancji gruntu suchego ciśnienie porowe zaczyna maleć i ścieżka naprężeń podąża ku górze. To zdanie jest nieprecyzyjne bowiem powinno się mówić w tym przypadku o zwrocie ścieżki naprężeń efektywnych z chwilą przekroczenia linii stanu ustalonego. Dyskusję w tym punkcie należałoby uzupełnić krótką analizą dekompozycji przyrostu odkształcenia objętościowego na część odwracalną i nieodwracalną co jest warunkiem koniecznym odchylenia ścieżki naprężenia efektywnego od pionu na płaszczyźnie $p - q$ przy spełnieniu więzu nieściśliwości. Z kolei bardzo cenną obserwacją autora, potwierdzającą wyniki innych badaczy, jest to, iż w teście izotropowego ściskania wartość parametru stanu Ψ pozostaje stała. Pytanie: czy ta obserwacja jest prawdziwa również w teście edometrycznego ściskania? Jest to o tyle ważne, że takie hipotezy znakomicie upraszczają konstruowanie złożonych modeli konstytutywnych. Przykładowo modele stanu krytycznego bazują na tej hipotezie.

W punkcie 1.4.3 omówiona została kwestia związku pomiędzy stopniem nasycenia S_r oraz wartością parametru Skemptonu B . Autor powołuje się na artykuł autorów Świdziński, Smyczyński z 2018 r., ale nie komentuje czy materiał zawarty w dysertacji jest rozszerzeniem materiału z artykułu czy tylko przeniesieniem go tak aby praca była kompletna. Ważnym wnioskiem jest tu stwierdzenie, że w gruntach o parametrze $S_r < 1$ ciśnienie porowe również się generuje.

W pkt. 1.4.4 oraz 1.4.5 doktorant przeprowadził analizę bieżącego stanu wiedzy w zakresie badań trójosiowych, w warunkach zatrzymanego odpływu wody z porów, gruntów częściowo nasyconych, obciążonych monotonicznie i cyklicznie. W tych punktach brakuje chociażby minimalnej kompilacji wyników tych prac w formie wykresów. Z tej analizy wynika, że poza badaniami empirycznymi, autor nie doszukał się opublikowanych modeli teoretycznych tego zagadnienia. Na str.29 pierwsze pełne zdanie powinno być zapisane w szyku odwróconym, innymi słowy to liczba cykli potrzebnych do upłynięcia pozostaje w związku z parametrem Skemptonu B , a nie na odwrót.

W pkt. 1.4.6 autor ocenił, że wpływ ciśnienia ssania przy nasyceniach $S_r \gg 0.1$ może zostać zaniedbany, z czym trudno się nie zgodzić.

W pkt. 1.4.7 autor w sposób wyjątkowo lakoniczny omówił tematykę związaną z efektem niestabilności. Jest to bardzo ważny aspekt w kontekście analizowania zachowania się gruntów podlegających upłynieniu. Zatem wypadałoby po pierwsze porządnie zdefiniować to pojęcie oraz podać kryterium wystąpienia tego efektu. Zamiast tego podane zostały dwie obserwacje związane z położeniem linii niestabilności na płaszczyźnie $p - q$. Z pierwszej z nich, za Świdzińskim 2006, wynika że współczynnik kierunkowy tej linii odpowiada współczynnikowi parcia bocznego K_o . Jeśli weźmiemy pod uwagę wykres na rys. 1.9 to widać że współczynnik kierunkowy linii niestabilności (zaznaczonej na czerwono) wynosi $q/p' \approx 1$. Jeśli za wartość współczynnika K_o dla gruntów niespoistych przyjmiemy $K_o \approx 1 - \sin \phi' \approx 0.5$ to wówczas wychodzi, że to nachylenie powinno wynosić $\frac{q}{p} = \frac{1 - K_o}{1 + 2K_o} = \frac{0.5}{0.67} = 0.75$. Dla $K_o \approx 0.4$ wszystko zaczyna wyglądać poprawnie. Z drugiej obserwacji, za Lipińskim, wynika, że linia niestabilności przebiega w miejscu gdzie następuje największa zmiana sztywności. Pytanie jest następujące co to jest za sztywność ? jak się ją definiuje ?. Przedostatnie zdanie w tym akapicie, wyrwane z jakiegoś bardziej ogólnego kontekstu, jest kompletnie niezrozumiałe. Powstaje następujące pytanie: jaki jest związek pomiędzy linią niestabilności a linią stanu ustalonego ? i czy wogóle jest ? na to pytanie autor powinien był odpowiedzieć właśnie w tym punkcie.

W pkt. 1.4.8 autor zasygnalizował problem oceny stopnia nasycenia bazując na pomiarze prędkości fali podłużnej. Praktycznie rzecz biorąc wyniki pokazane na rys. 1.10 powinny zaniepokoić autora bowiem wynika z nich, że tak naprawdę uzależnienie stopnia nasycenia S_r od wartości prędkości fali podłużnej v_p to raczej misja z cyklu tych niemożliwych do spełnienia. Na str. 33 autor użył pojęcia wytrzymałości na upłynienie.... Pytanie: co to jest za wytrzymałość ? jak się ją definiuje ? Chciałbym nawiązać tu jeszcze do omawianych wyników pracy Esellera i Bayata. Mam następujące pytanie do doktoranta: czy mierząc zarówno prędkość fali podłużnej v_p oraz fali poprzecznej v_s nie mamy wystarczającej wiedzy aby ocenić dość dokładnie nasycenia ? wydaje się być oczywistym, że sam pomiar prędkości v_p dla zhomogenizowanego kompozytu dwuskładnikowego przy S_r na poziomie np. 0.8 nie wystarcza aby oszacować nieznaną wartość S_r ale uzupełnienie wiedzy o moduł sztywności sprężystej szkieletu G_o daje nam więcej możliwości (podkreślam, że chodzi tu o zakres $S_r \approx 0.8$).

W pkt. 1.4.9 autor omówił kilka podejść do modelowania gruntów częściowo nasyconych. Uważam, że pewnym niedopatrzeniem jest pominięcie prac prof. Schreflera i jego książek z tego zakresu. Jednocześnie mam wrażenie, że autor nieco wymieszał równania konstytutywne z równaniami bilansowymi równowagi wewnętrznej mieszaniny szkielet-ciecz oraz ciągi masy dla cieczy.

Analiza i uwagi do rozdziału 2

Rozdział ten poświęcony jest w całości opisowi poszczególnych składników ośrodka częściowo nasyconego tj. szkieletu oraz cieczy traktowanej łącznie z nieciągłym składnikiem gazowym.

W pkt. 2.1 dotyczącym ciśnienia ssania autor powinien był zacytować fundamentalne prace z tego zakresu tj. Van Genuchtena oraz Fredlunda. Co do reszty nie mam innych zastrzeżeń.

W pkt. 2.2 omówiono definicję stopnia nasycenia. Brak zastrzeżeń do tego akapitu.

W pkt. 2.3 omówione zostały podstawowe charakterystyki materiałowe związane ze zmianami odkształcenia objętościowego wywołanego bądź to zmianami naprężenia średniego bądź intensywności ścinania $\eta = q/p$. Tu ponownie autor używa pojęcia naprężeń zewnętrznych !. Wzór 2.8 jest błędny, brakuje członu p' (powinno być: $\varepsilon_v^{p'} \approx A_p (1 + B_p p')$). Jeśli z kolei użyć wzoru zamieszczonego na wykresie 2.4 to nie uzyska się wzoru 2.9 po zróżniczkowaniu względem p . Nie za bardzo rozumiem dlaczego autor stosuje tę wyszukaną aproksymację skoro od prądziejów w mechanice gruntów używa się takich dwóch współczynników jak c_c i c_s lub wymiennie λ i κ , te ostatnie znane z modelu Modified Cam-Clay. Dla krzywej obciążenia wystarczy wtedy jeden współczynnik c_c nieprawdaż ? zatem po co wprowadzać 2 współczynniki A_p i B_p ? We wzorze 2.14 brakuje indeksu górnego f , ma być ε_v^f , a jest ε_v .

W pkt. 2.4 i 2.5 omówione zostały charakterystyki materiałowe płynu będącego mieszaniną wody i gazu, traktowanego jako gaz doskonały oraz relacja jako zachodzi pomiędzy parametrem Skemptonu B oraz ciśnieniem porowym wyrównawczym, średnim naprężeniem efektywnym oraz stopniem nasycenia. Ten punkt został opracowany bardzo rzetelnie.

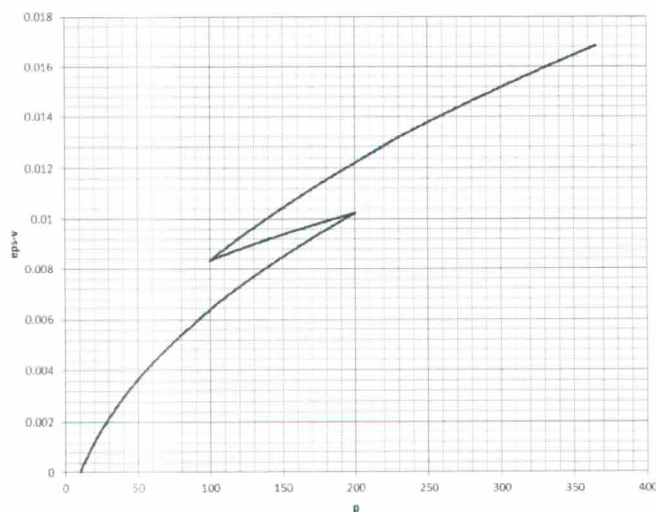
W pkt. 2.6 autor wyjaśnił zagadnienie wyznaczania prędkości propagacji fal sprężystych w zhomogenizowanym ośrodku dwuskładnikowym (woda i gaz traktowane są razem) wiążąc zastępczy współczynnik Poissona z parametrem Skemptonu. Nie mam żadnych uwag do tego akapitu.

Analiza i uwagi do rozdziału 3

Rozdział 3 zawiera wyniki badań doświadczalnych autora oraz aproksymacje funkcji konstytutywnych zredukowanego modelu przyrostowego.

W pkt. 3.1 i 3.2 omówiona została aparatura wykorzystana do badań trójosiowych oraz metodyka przeprowadzonych badań.

W pkt. 3.3 opisane zostały 2 klasy gruntów tj. osady OZM50 oraz piasek Skarpa. Kolejno w podpunktach 3.3.1 oraz 3.3.2 autor zamieścił podsumowanie wyników badań w postaci tabeli funkcji konstytutywnych oraz parametrów będących wynikiem najlepszego dopasowania tych funkcji do krzywych pomiarowych. Układ tego rozdziału jest nieco dziwny bowiem najpierw autor przedstawił wyniki doświadczeń w postaci tabel funkcji analitycznych i ich współczynników, wynikających z optymalizacji metodą najmniejszych kwadratów, a dopiero w podrozdziale 3.6 możemy te wyniki analizować. Wydaje się, że taki układ jest nienaturalny bowiem podsumowanie powinno być zamieszczone po rozdziale, w którym relacjonuje się wyniki badań. Wracając do postaci funkcji aproksymujących zastanawia mnie czy autor rozważał zachowanie się tych funkcji w pewnych stanach asymptotycznych np. $p \rightarrow 0$. Druga bardzo ważna sprawa to brak opisu funkcji obciążenia powtórnego. Jak rozumiem kryterium czy występuje proces obciążenia czy też odciążenia, a zatem czy używamy parametru A_p czy A_p^{un} w funkcji κ_s^p , bazuje na znaku przyrostu dp . Rozważmy zatem prosty test izotropowego ściskania, w którym rozpoczynamy ściskanie przy początkowej wartości $p = 10$ kPa i kontynuujemy aż do wartości $p = 200$ kPa. Następnie wykonujemy odciążenie do wartości $p = 100$ kPa, a później obciążenie powtórne do wartości $p = 300$ kPa. Wynik tej symulacji biorąc parametry dla piasku Skarpa w początkowym stanie kontraktywnym pokazałem na rys. poniżej. Jak łatwo zauważyć występuje tu charakterystyczny problem niezamykania się pętli histerezy. Jest to o tyle ważne, że jeśli rozwiązuje się jakikolwiek problem brzegowy, a w przypadku modeli nieliniowych nie ma innego wyjścia i pozostają tylko podejścia typu dyskretnego, to nawet w zagadnieniach gdzie przykładane są obciążenia monotonicznie procesy odciążenia i obciążenia powtórnego występują praktycznie zawsze. Z uwagi na jednorodność stanów odkształceń i naprężeń, oraz na monotoniczny charakter przykładanych obciążeń (test trójosiowy) nie ma to znaczenia. Reasumując, wszystkie funkcje κ muszą być wyposażone w dodatkowe zmienne stanu, które pamiętają punkty zwrotne, czy to w przestrzeni odkształceń czy też naprężeń. Ostatnią kwestią w tej materii jest defekt nieograniczonej generacji odkształceń objętościowych dla próbek o początkowym stanie dylatywnym przy sterowaniu odkształceniowym jak to ma miejsce w teście trójosiowym i dużych odkształceniach próbki.



W tabeli 3.4 wartość SFR jest błędna.

W pkt. 3.4 autor zamieścił wyniki badań trójosiowych (bez odpływu) dwóch analizowanych gruntów, przy różnym stopniu ich nasycenia. Osobno przeanalizowane zostały wyniki badań dla początkowego stanu kontraktywnego i dylatywnego. Zjawisko upłynienia zaobserwowane zostało tylko dla próbek o początkowym stanie kontraktywnym i najwyższym stopniu nasycenia.

W pkt. 3.5 omówione zostały wyniki badań cyklicznego ściskania trójosiowego próbek o różnym stopniu nasycenia (także parametru B) konsolidowanych anizotropowo. Konkluzja na temat zmiany liczby cykli do upłynienia wraz ze zmianą parametru B zawarta na str. 76 jest błędna. Jest raczej na odwrót czyli przy rosnącej wartości parametru B liczba cykli maleje, a nie rośnie.

Pkt. 3.6 to dość obszerny podrozdział, w którym opisane zostały wyniki wszystkich przeprowadzonych badań służących do identyfikacji, a następnie kalibracji, formuł aproksymacyjnych opisujących wymagane przez model teoretyczny funkcje konstytutywne κ . Szkoda, że autor nie zademonstrował krzywych $\varepsilon_v - p$ w układzie półlogarytmicznym co usprawiedliwiłoby odrzucenie klasycznej aproksymacji z 1 parametrem c_c lub c_s .

W pkt. 3.7 autor przeprowadził dodatkowe doświadczenia i pokazał zmiany wartości parametru Skemptonu w trakcie izotropowej konsolidacji. Efekt spadku wartości B jest bardzo wyraźny.

W pkt. 3.8 doktorant potwierdził doświadczalnie prawidłowość formuły teoretycznej wiążącej ze sobą stopień nasycenia i parametr Skemptonu co pozwala na szacowanie wartości S_r mając pomierzoną wartość parametru B. Jest to moim zdaniem cenny wynik.

W pkt.3.9 doktorant przedstawił wyniki pomiaru prędkości propagacji fali podłużnej w zależności od stopnia nasycenia. Końcowy wynik swoich badań pokazał na rys. 3.35, na którym prędkość fali v_p powiązana została sigmoidalną funkcją (arctan) z parametrem B . Pytanie dlaczego nie pokazano relacji $v_p - S_r$ skoro opracowana została relacja $B - S_r$. Wykres ten posiada moim zdaniem pewną wadę otóż dlaczego oś v_p zaczyna się od zera? Limitem jest tu prędkość propagacji fali podłużnej gruntu suchego. Po raz wtóry zwracam uwagę na przyjmowane postaci funkcji aproksymujących, które powinny być fizycznie uzasadnione.

W pkt.3.10 omówione zostały wyniki badań osadów OZM50 na próbkach NNS odwzorowując stan początkowy efektywnych naprężeń, jaki jest szacowany w miejscu i na danej głębokości ich pobrania. Wszystkie z nich wykazały silnie dylatywny charakter ale jednocześnie spory rozrzut wartości granicznych wartości kąta tarcia wewnętrznego.

Analiza i uwagi do rozdziału 4

Rozdział 4 zawiera kompletny opis uproszczonego, do warunków trójosiowych, modelu teoretycznego opisującego przebieg ścieżki naprężenia efektywnego na płaszczyźnie $p - q$ przy sterowaniu parametrem η przy dowolnym stopniu nasycenia. W modelu wykorzystano opracowane funkcje konstytutywne κ dla szkieletu oraz funkcję ściśliwości płynu κ^f .

W pkt.4.1 oraz 4.2 pokazano wyprowadzenie ogólnego równania różniczkowego tego modelu oraz jego redukcję do specyficznych warunków testu trójosiowego.

W pkt.4.3 autor wykazał istotne różnice pomiędzy opracowanym wcześniej modelem dla tego zagadnienia oraz modelem udoskonalonym poprzez wprowadzenie zmiennego nasycenia w trakcie realizacji testu.

W pkt.4.4 zademonstrowane zostało działanie modelu dla różnych stanów początkowych oraz różnych poziomów nasycenia wykorzystując opracowane funkcje konstytutywne dla dwóch typów gruntów. Jakościowa odpowiedź modelu jest poprawna.

W pkt.4.5 autor przedstawił analizy parametryczne i badanie wrażliwości modelu na zmiany wartości parametrów. Nie mam zastrzeżeń do tego podrozdziału.

W pkt.4.6 zademonstrowany został bardzo prosty przykład obliczeniowy podatnej kwadratowej płyty obciążonej obciążeniem równomiernym 50 kN/m^2 , na podłożu, w którym występuje warstwa gruntu w stanie luźnym. Przykład ten należy traktować tylko i wyłącznie poglądowo. Moim zdaniem taka uproszczona analiza nie ma większego znaczenia praktycznego.

W pkt.4.7 przedstawione zostały wyniki modelowe zmiany położenia linii niestabilności wraz ze zmianą parametru B a zatem i nasycenia.

Analiza i uwagi do rozdziału 5

Rozdział 5 zawiera porównanie wyników modelu teoretycznego oraz wyników eksperymentalnych.

W pkt.5.1 pokazano porównanie ścieżek $p - q$ dla osadów OZM50 oraz piasku Skarpa, dla różnych wartości parametru B . W przypadku osadów OZM50 (rys.5.1) jakościowa zgodność predykcji i pomiaru, dla wyższej wartości B , jest moim zdaniem dobra. Natomiast dla wartości B niższej, na pierwszy rzut oka wygląda znacznie lepiej, ale z kolei błąd oszacowania rezydualnego dewiatora jest już bardzo duży. Podobnie jest w przypadku piasku Skarpa (rys.5.2). Błąd w oszacowaniu rezydualnego dewiatora jest bardzo duży. Znacznie lepiej wygląda porównanie wyników dla próbek o początkowym stanie dylatywnym. Przeprowadzona analiza błędu oszacowania maksymalnego dewiatora wygląda całkiem dobrze, ale gdyby wykonać taką analizę dla dewiatorów rezydualnych, dla próbek kontraktywnych, to błędy byłyby bardzo duże. Warto może byłoby przyjrzeć się jakie jest źródło tego błędu. Myślę że tkwi on w samym modelu teoretycznym dla szkieletu, a konkretnie w funkcji odciążenia.

W pkt.5.2 pokazane zostało porównanie predykcji modelu teoretycznego oraz wyników eksperymentalnych dla próbek NNS pobranych z osadnika Żelazny Most. Tu podobnie na pierwszy rzut oka wynik jest bardzo dobry (por. rys.5.5) ale należy zauważyć, że model generuje znacznie większą wartość dewiatora w stanie granicznym.

W pkt.5.3 autor pokazał porównanie swoich wyników na tle wyników uzyskanych przez innych autorów. Problem słabej predykcji dewiatorów rezydualnych występuje dalej.

W pkt.5.4 autor przedstawił wyniki badań eksperymentalnych, dla których określił krzywą zależności liczby cykli potrzebnych do upłynnienia w zależności od parametru B .

Analiza i uwagi do rozdziału 6

Rozdział 6 to podsumowanie oryginalnych osiągnięć autora, które wg mojej opinii zgodne są ze stanem faktycznym potwierdzonym przez zawartość merytoryczną tej rozprawy.

4. Uwagi o warsztacie naukowym, redakcji pracy

Poziom naukowy recenzowanej pracy doktorskiej oceniam jako dość dobry. Sama praca obejmuje sformułowanie teoretyczne zredukowanego modelu konstytutywnego zachowania się gruntów niespoistych, o dowolnym stanie początkowym, pod obciążeniem mono-

tonicznym odpowiadającym warunkom testu trójosiowego w warunkach bez odpływu, badania eksperymentalne wykonane dla dwóch różnych gruntów modelowych tj. piasku Skarpa oraz osadów z osadnika Żelazny Most, przy różnych stopniach nasycenia, kalibrację funkcji sztywności/podatności wspomnianego wyżej modelu konstytutywnego, opracowanie związków pomiędzy ściśliwością zhomogenizowanego płynu i stopniem nasycenia, oraz numeryczną implementację opracowanych modeli i ich weryfikację. Z punktu widzenia kryteriów stawianych pracom doktorskim ta praca jest oryginalnym i twórczym rozwiązaniem zagadnienia naukowego, mającego dodatkowo spore znaczenie praktyczne. Pod względem językowym można mieć trochę zastrzeżeń bowiem autor w niektórych przypadkach stosuje zbyt duże skróty myślowe lub też niektóre sformułowania są po prostu nieprecyzyjne. Listę uwag w tym zakresie zawarłem w części, w której analizuję poszczególne rozdziały pracy. Walorem tej pracy jest z kolei jej umiarkowana objętość co oznacza, że autor potrafi w sposób zwarty wyrażać swoje myśli. Istotną wartością dodaną przez autora, w stosunku do prac, w których ta tematyka zaczęła być rozwijana, jest termodynamicznie spójny opis zmiany ściśliwości płynu porowego wraz z nasyceniem, w warunkach stałej temperatury, i zastosowanie tego opisu do rozwiązania nieliniowego równania różniczkowego wiążącego zmianę wartości efektywnego naprężenia średniego p' z parametrem $\eta = \frac{q}{p'}$. Wyniki prac autora umożliwiają lokalną (czyli w punkcie materialnym) ocenę możliwości upłynnienia gruntu nawet w warunkach niepełnego nasycenia.

5. Uwagi o charakterze dyskusyjnym

Listę uwag o charakterze dyskusyjnym zawarłem w części recenzji zawierającej szczegółową analizę zawartości merytorycznej. Myślę, że kilka z nich będzie przedmiotem dyskusji w trakcie publicznej obrony. Na koniec pragnę jednak zwrócić uwagę, że prawdziwa wartość modeli konstytutywnych jest do udowodnienia tylko wtedy gdy da się je efektywnie włączyć do oprogramowania MES, tak aby móc rozwiązywać dwu- lub trójwymiarowe zagadnienia początkowo-brzegowe. To wymaga jednakże wprowadzenia szeregu modyfikacji do przyrostowego modelu konstytutywnego, o których wcześniej już wspominałem.

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. W związku z tym wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

