

Gliwice, 14 listopada 2018 r.

Dr hab. inż. Małgorzata Jastrzębska, prof. nzw. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Geotechniki i Dróg
Ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego pt.:
„Reakcja gruntu spoistego na obciążenia cykliczne w warunkach bez odpływu”

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą ponowną recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego pt. *„Reakcja gruntu spoistego na obciążenia cykliczne w warunkach bez odpływu”* wykonałam na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, dra hab. inż. Eugeniusza Kody, prof. nzw. SGGW, z dnia 25 października 2018 r., zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 24 października 2018 r. Promotorami pracy doktorskiej są prof. dr. hab. inż. Alojzy Szymański (promotor główny) oraz dr inż. Wojciech Sas (promotor pomocniczy).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

2.1. Uwagi wstępne

Przedstawiona mi do oceny praca liczy ogółem 213 stron (w tym 168 stron tekstu i 28 stron załączników dokumentujących przeprowadzone badania) oraz 167 pozycji literatury, w zdecydowanej większości zagranicznej, z czego 25 pozycji pochodzi z okresu ostatnich 5 lat. Pracę podzielono na 6 rozdziałów, a każdy z nich (z wyjątkiem rozdz. 5 i 6) na szereg podrozdziałów i pod-podrozdziałów. Do pracy dołączono również 5 załączników oraz spisy rysunków, tabel i stosowanych oznaczeń.

2.2. Aktualność tematyki badawczej

Rozprawa doktorska przygotowana przez mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Alojzego Szymańskiego oraz dra inż. Wojciecha Sasa, w całości poświęcona jest doświadczałnemu rozpoznaniu reakcji gruntu spoistego obciążonego cyklicznie w warunkach bez odpływu wody z porów gruntu, z równoczesnym podaniem równań opisujących przyrost odkształceń plastycznych w kolejnych cyklach.

Punktem wyjścia uzasadniającym rangę i aktualność tej problematyki badawczej są dane literaturowe dotyczące złożonego i osobliwego zachowania się gruntów pod obciążeniem cyklicznym, sięgające swym początkiem lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku (publikacje *Seeda i in.*). O kluczowym znaczeniu problematyki obciążeń cyklicznych we współczesnej geotechnice decyduje przede wszystkim aspekt aplikacyjny związany z projektowaniem i wykonawstwem geotechnicznym wszędzie tam, gdzie ma się do czynienia m.in. z ruchem pojazdów samochodowych lub taboru kolejowego, drganiem maszyn przemysłowych, uderzeniami wiatru, falowaniem powierzchniowym, prądami morskimi czy też trzęsieniami ziemi. Oczywiście każde z wymienionych źródeł obciążeń cyklicznych ma swoją własną charakterystykę, niemniej ich wspólnym mianownikiem są powtarzające się na przemian w czasie cykle obciążania i odciążania. Odpowiedź gruntu na taki typ obciążenia jest odmienna w zależności od jego rodzaju. Jednocześnie zachowanie gruntu spoistego pod obciążeniem cyklicznym jest nieporównywalnie słabiej rozpoznane i zidentyfikowane niż gruntu niespoistego, a jest przy tym bardziej skomplikowane. Pierwsze publikacje związane z gruntami spoistymi pod obciążeniem zmiennym pojawiły się dopiero na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku i były związane z budową platform wiertniczych na Morzu Północnym (*Andersen i in.*). Natomiast szersze opracowanie (*state – of – the – art*) zaprezentował później *Wood* w 1982. Od tego czasu pojawiło się wiele prac związanych z przedmiotowym tematem, jednak większość z nich dotyczyła gruntów niespoistych.

Omawiając proces cykliczny należy wziąć pod uwagę jego podstawowe parametry, do których należą: wielkość i typ amplitudy (amplituda naprężeń lub odkształceń; np. *Vucetic; Andersen i in.*), liczba cykli (np. *Green i Terri*), częstotliwość (np. *Ansal i Erken*), prędkość obciążania (np. *Vucetic i Dobry*), charakter obciążania (np. *Arthur i in.*) – pulsacyjne (powszechnie zwane jednokierunkowym) lub oscylujące (zwane dwukierunkowym). Kolejnym istotnym czynnikiem, który co prawda nie jest parametrem procesu cyklicznego, lecz ma ogromny wpływ na zachowanie się gruntu pod wpływem obciążenia zmiennego, jest współczynnik prekonsolidacji *OCR* (np. *Matasovic i Vucetic; Matsui i in.*). W przypadku gruntów spoistych równie ważny jest wskaźnik plastyczności *Ip* (np. *Vucetic*).

Podstawą odpowiedzi gruntu na zadawane obciążenie cykliczne jest generowanie ciśnienia wody w porach gruntu, które może prowadzić do zniszczenia (warunki bez odpływu). W odniesieniu do gruntów niespoistych mówimy wówczas o upłynnieniu, natomiast w przypadku gruntów spoistych mamy na myśli utratę nośności. Innym obserwowanym efektem jest stopniowy przyrost odkształceń postaciowych przy czym istnieje pewna jego progowa wartość, która stanowi granicę pomiędzy stabilizacją, a zniszczeniem gruntu. Kolejnym istotnym zagadnieniem jest wpływ obciążenia cyklicznego na sztywność gruntów. Zbiorczo temat ten podejmowany był m.in. przez *Andersena i in.*, a później także w obrębie strefy bardzo małych i małych odkształceń (m.in. przez *Jastrzębską*). Na przestrzeni lat przewijały się także zagadnienia cyklicznego modułu sprężystości M_r (np. *Seed; Chazallon i in.*), przyrostu odkształceń plastycznych (np. *Barksdale; Werkmeister; Wichtmann*) i teorii dostosowania (np. *Lekarp i in., Tang i in.*). Szczególnie ta ostatnia problematyka, czyli teoria dostosowania wymaga uzupełnienia w zakresie gruntów spoistych.

Wzajemne zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami procesu cyklicznego mającymi wpływ na odpowiedź gruntu pod obciążeniem zmiennym wciąż są przedmiotem badań wielu badaczy, choć niewielu z nich podejmuje się badań w obszarze gruntów spoistych. Takie zadanie przyjął na siebie mgr inż. Andrzej Głuchowski, realizując obszerny program cyklicznych badań trójosiowych typu CIU (badania z konsolidacją izotropową i ścinanie bez odpływu wody) i na ich podstawie proponując równania empiryczne opisujące charakterystykę przyrostu odkształceń plastycznych w zadanych warunkach obciążeń, zwłaszcza tych długotrwałych.

2.3. Struktura rozprawy

Struktura pracy została przez Doktoranta przedstawiona w **rozd. 1.4** pt.: „Zakres pracy”, co stanowi ogólne wprowadzenie do studiowania rozprawy. Niestety Autor nie podał informacji o rozdziałach, w których można znaleźć poszczególne zagadnienia.

Dla przygotowania oceny, całość dysertacji można podzielić na 4 podstawowe części, a mianowicie:

- **Wstęp** wprowadzający do przedmiotu rozważań poprzez krótkie naświetlenie reakcji gruntu spoistego na powszechnie występujące obciążenia cykliczne, a kończący się sformułowaniem celu pracy i hipotez badawczych, głównej i pomocniczych. Tym samym Autor wprowadził istotne z punktu widzenia całej rozprawy pojęcie „dostosowania”, omówione później szczegółowo w **rozd. 2.3.5 i 2.3.6**. Ponadto przybliżył charakterystykę przyrostu deformacji plastycznych w trakcie długotrwałego działania obciążenia cyklicznego, którą następnie rozwinął w **rozd. 2.3**. Jednocześnie Doktorant uzasadnił w ten sposób wybór cyklicznych badań trójosiowych bez odpływu wody z porów gruntu w ramach realizacji celu pracy.
- Drugą grupę problematyczną stanowią podstawowe pojęcia, definicje i równania zawarte w **rozd. 2**, wszystkie przedstawione na tle zasadniczego przeglądu literatury i będące punktem wyjścia do eksperymentalnej i teoretycznej tematyki zawartej w **rozd. 3 i 4**. Zaprezentowany aktualny stan badań i próby opisu zachowania się gruntów pod obciążeniem cyklicznym pozwoliły Doktorantowi wyspecyfikować parametry realizowanych doświadczeń oraz nakreślić precyzyjnie występujące w tym zakresie luki. Tym samym Autor uzasadnił podjęcie konkretnej tematyki badawczej oraz uszczegółowił cele pracy opisane wcześniej w **rozd. 1.2**.
- Trzecią grupę zagadnień, którym zostały poświęcone **rozd. 3 i 4.1 ÷ 4.6** (ok. 64% całości) oraz **załączniki A ÷ D**, stanowią opisy metodyki badań obejmującej prezentację stanowiska trójosiowego, przyjętego programu eksperymentalnego, sposobu przygotowania próbek oraz identyfikację podstawowych cech fizycznych wybranych 3 gruntów spoistych. Powyższe opisy Autor uzupełnił o charakterystyki wytrzymałościowe i maksymalne moduły ścinania G_0 wyznaczone dla obciążeń monotonicznych oraz o charakterystyki ściśliwości. W **rozd. 4.1 ÷ 4.6** Doktorant skupił się na analizie otrzymanych wyników, poświęcając swą uwagę zmianom nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu i mechanizmie ich powstawania oraz ich

wpływowi na przebieg ścieżek naprężenia. Ponadto rozważył towarzyszący temu charakter zmian odkształceń sprężystych i plastycznych na przykładzie m.in. kąta nachylenia pętli histerezy w kierunku osi odkształceń, co jednocześnie powiązał ze wzmocnieniem lub osłabieniem gruntu reprezentowanym przez wzrost lub spadek jego sztywności. Interpretację graficzną oraz zestawienia tabelaryczne dla omawianych przypadków zamieszczono w tekście głównym pracy oraz uzupełniająco w **Załącznikach A ÷ D**. Przedstawiona grupa zagadnień stanowi podstawowy wkład własny Doktoranta w rozważanej tematyce.

- Czwartą grupę problemów reprezentują **rozdziały: 4.7, 5 i 6 oraz załącznik E. Rozdz. 4.7**, po dokonaniu podziału odkształceń plastycznych na 3 grupy w zależności od liczby cykli, zawiera koncepcję modelu opisującego te odkształcenia. Wyprowadzone równania są funkcją wskaźnika plastyczności, wskaźnika porowatości początkowej oraz kombinacji naprężeń dewiatorowych i średnich. Kolejne etapy modelowania uzasadniono w drodze analizy statystycznej w postaci testu korelacji Pearsona. Odpowiednie zestawienia parametrów dla poszczególnych równań analiz statystycznych zawarto w **Załączniku E**. Weryfikacja zaproponowanych równań potwierdziła ich przydatność do prognozowania odkształceń plastycznych w przypadku obciążenia cyklicznego w projektowaniu geotechnicznym. Dodatkowo w **rozdz. 5** Doktorant wskazał praktyczne zastosowanie autorskiego rozwiązania w budownictwie drogowym, podając kryterium klasyfikacji gruntów obciążonych cyklicznie pod względem potencjału deformacji. **Rozdz. 6** będący podsumowaniem całości, zawiera własne sformułowania osiągnięć rozprawy oraz perspektywicznego, dalszego rozwoju tematyki badań, którą zainicjowano w omawianej pracy.

W kontekście wyżej przedstawionej argumentacji, strukturę i układ pracy należy uznać za logiczny.

3. Ocena dorobku rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalną propozycję rozwiązania problemu naukowego jakim jest rozpoznanie reakcji gruntu spoistego w różnych stanach naprężenia na działające obciążenie cykliczne w warunkach bez odpływu wody z porów oraz podanie równań służących do prognozowania generowanych odkształceń plastycznych w trzech różnych zakresach liczby cykli. W tym miejscu warto zaznaczyć, że Doktorant całe wnioski odnosi do gruntów normalnie skonsolidowanych z czym, jako recenzent nie zgadzam się. Kwestia ta zostanie omówiona w dalszej części.

Na bazie własnych badań doświadczalnych oraz wnikliwej analizy istniejącego w tym zakresie stanu wiedzy Autor stwierdził, że interpretacja odpowiedzi gruntu spoistego na obciążenie zmienne jest nieco inna niż w przypadku gruntów niespoistych. Dla tych ostatnich stan rozpoznania jest na tyle zaawansowany, że zaczęto wprowadzać wymagania normowe im dedykowane. Zjawisko akumulacji odkształceń plastycznych przy długotrwałym obciążeniu cyklicznym ma duży wpływ na okres użytkowalności konstrukcji budowlanych, a najbardziej niekorzystne warunki w przypadku gruntów spoistych związane

są z sytuacją braku odpływu wody z porów, co jest tożsame z dużą częstotliwością działającego obciążenia. Takie sytuacje powodują znaczne zmiany nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu, tym samym stwarzając ryzyko utraty nośności.

Na podstawie ww. przesłanek Doktorant zrealizował odpowiedni program badawczy, wydzielił 3 strefy przyrostów odkształceń plastycznych i dla każdej z nich zaproponował własne równanie empiryczne umożliwiające przewidywanie tych przyrostów.

Cele naukowe pracy zostały opisowo, w jasny sposób sformułowane we **Wstępie** i powtórzone w bardziej rozbudowanej formie na końcu **rozdz. 2**, czyli po przeglądzie literatury. Do ich realizacji niezbędna była rozległa wiedza z zakresu mechaniki gruntów, metodyki nowoczesnych badań trójosiowych, umiejętność planowania i realizowania zaawansowanych badań eksperymentalnych, wprawa w prowadzeniu analiz zarówno teoretycznych, jak i otrzymanych wyników doświadczalnych.

Według mojej opinii Doktorant wykazał się wszystkimi tymi cechami, a przedstawiona przez Niego praca w sposób zwięzły i konsekwentny realizuje zawarte w niej cele. Przedstawione w dalszej części zastrzeżenia przypuszczalnie związane są z niestarannością samego opracowania zagadnień.

Do najważniejszych elementów oryginalnych rozprawy doktorskiej zaliczam:

- Wnikliwy przegląd aktualnego stanu modelowania zachowania się gruntów poddanych działaniu obciążeń cyklicznych, ze szczególnym uwzględnieniem teorii dostosowania i prognozowania odkształceń plastycznych.
- Obszerny przegląd eksperymentalnych podstaw modelowania odpowiedzi gruntu spoistego na obciążenia cykliczne w aspekcie różnych parametrów procesu cyklicznego, z uwzględnieniem charakterystycznych zmian nadwyżki ciśnienia wody w porach, efektu wzmocnienia bądź osłabienia gruntów reprezentowanego przez zmianę sztywności początkowej, oraz strefowości przyrostów odkształceń plastycznych.
- Wydzielenie na drodze eksperymentalnej czterech faz rozwoju nadwyżki ciśnienia w porach gruntu, do których zaliczono: pierwszy cykl obciążenia, etap szybkiego przyrostu nadwyżki ciśnienia wody w porach, etap pośredni oraz etap stabilizacji.
- Wypcyfikowanie równań empirycznych umożliwiających prognozowanie nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu.
- Wydzielenie na drodze eksperymentalnej trzech faz przyrostu odkształceń plastycznych w funkcji liczby cykli: pierwszy cykl obciążenia, cykle od $N = 2 \div 2000$ oraz cykle dla $N > 2000$.
- Wypcyfikowanie równań empirycznych umożliwiających modelowanie przyrostu odkształceń plastycznych.
- Analizę zachowania się i wyglądu pętli histerezy oraz ścieżek naprężeń efektywnych w kontekście zmian sztywności gruntu.

- W nawiązaniu do wytycznych zawartych w Eurokodzie 7 dla gruntów niespoistych, zaproponowanie kryterium do obliczania przyrostu deformacji w trakcie eksploatacji gruntów spoistych poddanych obciążeniom zmiennym w warunkach bez odpływu.
- Biegłe opanowanie metodyki zaawansowanych badań trójosiowych.

4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

Niniejsza recenzja stanowi powtórny ocenę pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego. W stosunku do pierwszego egzemplarza pracy jej kolejna wersja została znacząco uporządkowana i usystematyzowana, co zdecydowanie ułatwiło jej analizę. Ponadto Autor wprowadził szereg uzupełnień, które stanowią odpowiedzi na pytania i wątpliwości przedstawione przeze mnie w poprzedniej recenzji. Dzięki temu ogólna jakość pracy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego uległa zdecydowanej poprawie.

Dwie zasadnicze uwagi, które odnoszą się do całości pracy związane są z podejściem Doktoranta do stanu prekonsolidacji badanych gruntów oraz mniejszych efektywnych naprężeń głównych σ'_3 .

- Odnośnie pierwszego, w tekście na **str. 75** pojawia się stwierdzenie, że *„Ponieważ naprężenie prekonsolidacji gruntu zagęszczonego było większe niż mniejsze efektywne naprężenie główne σ'_3 (...) z tego powodu można stwierdzić, że badania te wykonano dla gruntu prekonsolidowanego.”* Co do słuszności tego stwierdzenia Recenzent nie ma żadnych zastrzeżeń, zwłaszcza że wszystkie interpretacje graficzne w postaci przebiegu efektywnych ścieżek naprężenia oraz krzywych związanych z nadwyżką ciśnienia wody w porach, potwierdzają ten fakt (Head *„Volume 3: Effective stress tests”* 1998; Wood *„Soil behaviour and critical state soil mechanics”* 1990). Następnie Autor wprowadza również pojęcie tzw. *sztucznej prekonsolidacji* (obszerne 2 akapity na **str. 115**), którym niejako tłumaczy charakterystyczny przebieg krzywych w układzie $p' - q$ oraz $\epsilon_l - \Delta u$. To wydaje się bezzasadne skoro stwierdzono, że badane grunty są prekonsolidowane. Z tego co Recenzentowi wiadomo określenie sztucznej prekonsolidacji (*quasi preconsolidation*) najczęściej odnosi się do gruntów budujących dno morskie (Yasuhara i in. 1984 w książce *„Seabed mechanics”* B. Denness (ed.)) W dalszej kolejności wnioskuje Doktorant (np. **str. 119**) skupia się na gruntach normalnie skonsolidowanych, których *de facto* w procesie eksperymentalnym nie ma. W innym miejscu, na **str. 76** Autor stwierdził, że *„Ponadto, zaobserwowane q nieustannie rośnie w trakcie badania ze względu na zmniejszanie się wartości ciśnienia wody w porach. Można wywnioskować, że grunt spoisty wykazuje cechy gruntu normalnie skonsolidowanego pomimo wykonania zabiegu zagęszczania.”* Z tym stwierdzeniem recenzent stanowczo się nie zgadza, gdyż to właśnie grunty prekonsolidowane wykazują zmniejszanie się wartości ciśnienia wody w porach, nawet z możliwością wystąpienia ssania w przypadku silnej prekonsolidacji. Recenzent ma wrażenie, że Doktorant nie potrafi się zdecydować z jakimi gruntami ma do czynienia: normalnie skonsolidowanymi czy prekonsolidowanymi, choć ta sprawa

wyduje się oczywista. Odniesienie wyników do jednej z grup nie umniejsza wartości całej pracy. **Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.**

- Przechodząc do drugiego zagadnienia Recenzent zastanawia się w jaki sposób Doktorant przeprowadził badania monotonicznego i cyklicznego ścinania przy stałych wartościach mniejszych efektywnych naprężeń głównych σ'_3 , wykazując jednocześnie zmiany ciśnienia wody w porach? Sformułowania typu „wyniki badania przy efektywnym mniejszym naprężeniu głównym σ'_3 równym 45 kPa przeprowadzono (...)” powtarzające się wielokrotnie w całej pracy przy opisie każdego z badań świadczą o tym, że Autor nie rozumie idei naprężeń efektywnych, które z definicji w przypadku ścinania bez odpływu wody z próbki nie mają stałej wartości, a przynajmniej do pewnego momentu w konkretnych przypadkach. To mniejsze naprężenie główne σ_3 , czyli ciśnienie wody w kloszu ma stałą wartość w trakcie badania, a nie naprężenie efektywne. **Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.**

4.1 Grupa pierwsza zagadnień: Wstęp

We wstępie Doktorant ukierunkowuje uwagę na specyfikę gruntów spoistych i ich odmienną reakcję na obciążenie cykliczne w stosunku do gruntów niespoistych. Wskazuje na skutki niskiej wodoprzepuszczalności gruntów charakteryzujących się spójnością i ich podatnością na wzrost ciśnienia wody w porach w warunkach bez możliwości jej odpływu. Ponadto Autor zwraca uwagę na fakt przyrostu odkształceń plastycznych pod wpływem obciążeń zmiennych, który zachodzi zgodnie z teorią dostosowania.

- Ze względu na to, że całość rozprawy skupia się na obciążeniach cyklicznych w pracy zabrakło krótkiego zestawienia i omówienia wszystkich parametrów procesu cyklicznego takich jak amplituda naprężenia lub odkształcenia, amplituda stała lub zmienna, częstotliwość, liczba cykli, sposób obciążania (pulsacyjne lub oscylujące), prędkość obciążania oraz dodatkowo współczynnik prekonsolidacji badanego gruntu. Ostatni z wymienionych czynników mógłby mieć duże znaczenie w interpretacji wyników recenzowanej pracy.
- str. 14 - W **rozd. 1.3** Doktorant wskazuje, że reakcja gruntu spoistego na obciążenie cykliczne zależy m.in. od stopnia plastyczności.

Recenzent sądzi, że Doktorantowi chodziło raczej o wskaźnik plastyczności I_p , do którego nawiązuje w dalszej części pracy.

- str. 15 - W **rozd. 1.3** Autor posługuje się następującymi sformułowaniami: „(...) wykonywane badania laboratoryjne powinny charakteryzować się odpowiednio małym stanem naprężenia (...)” oraz „W przypadku gruntów niespoistych, przy małym poziomie obciążenia cyklicznego, (...)”.

Osobiście recenzent uważa, że bardziej właściwe byłoby mówienie o „niskim stanie naprężenia” oraz „niskim poziomie obciążenia”.

4.2 Grupa druga zagadnień: rozdział 2

Kluczowe pojęcia, definicje i równania są bardzo ważnymi elementami rozprawy, bowiem stanowią podstawę do przyjęcia odpowiedniego programu badawczego, zweryfikowania teorii dostosowania w odniesieniu do gruntów spoistych oraz wyspecyfikowania równań prognozujących nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu i przyrostu odkształceń plastycznych.

- **rozd. 2.3.5** – Zaprezentowana koncepcja dostosowania, pierwotnie wyprowadzona dla gruntów niespoistych, również bardzo dobrze oddaje i tłumaczy zachowanie się gruntów spoistych pod obciążeniem cyklicznym.

Czy Doktorant uważa, że teoria ta znajduje zastosowanie również w przypadku gruntów spoistych obciążonych cyklicznie przy zadanej amplitudzie odkształcenia? Skoro w takiej sytuacji nie dochodzi do przyrostu odkształceń plastycznych, to czym charakteryzuje się odpowiedź gruntu w takiej sytuacji?

4.3 Grupa trzecia zagadnień: rozdziały 3 i 4.1 – 4.6

Wymienione rozdziały są kluczowymi rozdziałami rozprawy biorąc pod uwagę zdecydowanie eksperymentalny charakter pracy. W nich to właśnie Autor prezentuje metodykę badań trójosiowych i uzupełniających edometrycznych, materiał badawczy, sposoby przygotowania próbek i program badań zasadniczych. W dalszej części szeroko analizuje otrzymane wyniki.

Uwaga ogólna do tej części pracy związana jest z pomiarem odkształceń próbki w trakcie ścinania. Biorąc pod uwagę, że przedmiotem szczegółowej analizy są poszczególne pętle histerezy i związane z nimi odkształcenia sprężyste i plastyczne, niezwykle istotna jest dokładność ich pomiaru. **W związku z tym proszę Doktoranta o informację w jaki sposób mierzono odkształcenia? Czy zastosowano wewnętrzny pomiar odkształceń?**

- str. 65 – Autor napisał, że szczegółowe dane dotyczące przebiegu badań trójosiowych przedstawiono w Załączniku A.

Proszę Doktoranta o skomentowanie dlaczego w kolejnych Tabelach nie zamieścił końcowych wartości wilgotności oraz wskaźnika porowatości dla poszczególnych próbek? Ze względu na typ badań, tzn. z konsolidacją i ścinaniem bez odpływu wody z próbki (CU) końcowa wilgotność i wskaźnik porowatości są tożsame z wartościami uzyskanymi po konsolidacji, a więc są wartościami wyjściowymi przed etapem ścinania. Znajomość tych wartości mogłaby mieć znaczenie w trakcie analizy uzyskanych wyników.

- str. 67 – Autor podał kryterium zakończenia etapu konsolidacji w postaci odcieku wody mniejszego od $0,05 \text{ mm}^3$.

Proszę Doktoranta o doprecyzowanie w jakim czasie odciek ma być mniejszy od $0,05 \text{ mm}^3$?

- str. 67 – Autor stwierdził, że „*Nasączenie prowadzono do momentu osiągnięcia przez parametr B wartości większej niż 0,94, czyli do stanu pełnego nasycenia*”. Na podstawie tego stwierdzenia oraz zestawienia w Załączniku A nasuwają się 2 pytania:
 - 1) **W teorii, z definicji, za stan pełnego nasycenia uważa się sytuację, gdy parametr Skemptona B jest równy jedności. Wobec tego dlaczego Autor uważa, że np. $B = 0,95$ oznacza stan pełnego nasycenia?**
 - 2) **Zestawienie w Załączniku A wykazuje, że wartości parametru Skemptona wynosiły $B = 0,90$ (2 próbki); $0,91$ (1 próbka); $0,92$ (3 próbki); $0,93$ (5 próbek); $0,94$ (5 próbek); $0,96$ (2 próbki). W świetle tego co napisał Autor, większość próbek nie została w pełni nasycona. Proszę o komentarz w tej sprawie.**
- str. 70 – Autor określił badane przez siebie grunty jako *sasiCl* oraz *clSa*, nadając im polskie nazwy odpowiednio *glina ilasta* oraz *piasek zailony*. Nadawanie gruntom polskich nazw do symboli utworzonych wg wymogów Eurocodu 7 jest kwestią dyskusyjną od wielu lat. Niemniej w kolejnych poprawkach do pierwotnej normy PN-EN ISO 14688-1: 2002 uznano, iż właściwszym podejściem będzie niepodawanie form przymiotnikowych, które są właściwe dla analogicznej, nieobowiązującej już polskiej normy. Biorąc to pod uwagę prezentowane grunty powinny nazywać się *ił z pyłem i piaskiem* oraz *piasek z ilem*. Recenzent przyznaje, że nie zapoznał się z najnowszą poprawką do normy ISO z maja 2018 r. Jednak fakt ten wydaje się nie mieć znaczenia, gdyż nowa wersja jest tylko angielskojęzyczna, więc przypuszczalnie nie dałaby odpowiedzi w zakresie polskiego nazewnictwa. **Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.**
- str. 75 – Autor stwierdził, że badane próbki grunty są prekonsolidowane. Dlaczego więc w Załączniku A nie zamieszczono wartości współczynnika prekonsolidacji OCR? Przypuszczalnie analiza wyników pozwoliłaby tym samym odnieść rezultaty do grunty słabo i mocno prekonsolidowanych. **Proszę Doktoranta o uzupełnienie tych informacji.**
- str. 76 – Autor stwierdził, że „*Badania przeprowadzono do momentu uzyskania ścięcia*”. Na podstawie tego sformułowania nasuwa się podstawowe pytanie:
 - 1) **Jakie Autor zastosował kryterium ścięcia?**
- str. 76 – Autor stwierdził, że „*Jak można zauważyć, wartość maksymalnego naprężenia dewiatorowego q_{max} zależy od wartości σ'_3* ”. Zdecydowanie jest to błędne założenie, gdyż wartość dewiatora naprężenia q nie zależy ani od σ_3 , ani od σ'_3 . Co najwyżej można mówić, że grunty badane przy wyższych wartościach ciśnienia w kloszu (tzn. σ_3 , a nie σ'_3) wykazują się relatywnie większą wytrzymałością na ścinanie. **Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.**

4.4 Grupa czwarta zagadnień: rozdziały 4.7, 5 i 6

Rozdz. 4.7 (ok. 11% całości) jest kolejnym kluczowym rozdziałem rozprawy, który w sposób analityczny podsumowuje rezultaty badań eksperymentalnych. Modelowanie zmienności odkształceń plastycznych poprzedzono podziałem tych odkształceń na 3 charakterystyczne grupy, związane z liczbą cykli obciążenia. Są to: pierwszy cykl, w którym zachodzące zmiany są na ogół największe; cykle od $N = 2 \div 2000$, podczas których charakterystyka przyrostu odkształceń jest zmienna, i cykle dla $N > 2000$ ze stałym przyrostem odkształceń. W zależności od specyfiki przebiegu zmian odkształceń plastycznych Autor dobiera odpowiednie metody statystyczne, które później weryfikuje. Recenzent niezwykle pozytywnie ocenia ten fragment pracy. Wykazane w nim zależności pozwolą jemu samemu zweryfikować prowadzone przez siebie badania, co zapewne przyczyni się do udoskonalenia równań obliczeniowych zaproponowanych przez Doktoranta.

Do tej grupy zagadnień recenzent nie ma więcej uwag merytorycznych. Podobnie jak Doktorant jest świadom konieczności rozszerzenia bazy eksperymentalnej o większą liczbę badań, prowadzonych przy różnych parametrach wejściowych.

W zakończeniu rozprawy (**rozdz. 6**) Doktorant dość szczegółowo podsumował wyniki pracy, które jednocześnie potwierdzają zasadność przyjętego celu naukowego i koncepcji badawczej. Podsumowanie podkreśla także osiągnięcia badawcze i oryginalne elementy rozprawy, za które Autor uznaje:

- Zrealizowanie cyklicznych badań trójosiowych na nowoczesnym stanowisku badawczym.
- Przeprowadzenie wnikliwej analizy zachowania się gruntów spoistych pod obciążeniem zmiennym z zachowaniem pełnego odniesienia się do dotychczasowych osiągnięć innych badaczy.
- Podanie równań prognozujących nadwyżkę ciśnienia wody w porach gruntu i przyrost odkształceń plastycznych.
- Zaproponowanie własnej klasyfikacji gruntów spoistych obciążonych cyklicznie na bazie kryterium dostosowania dla gruntów niespoistych zawartego w Eurokodzie 7.

Kończąc ocenę merytoryczną rozprawy recenzent chciałby podkreślić jej wysoką wartość oraz cenny wkład w rozwój badań eksperymentalnych i analitycznych prowadzących do jeszcze lepszego rozpoznania zachowania się gruntów spoistych pod obciążeniem zmiennym. Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe w większości mają charakter dyskusyjny i nie pomniejszają wymienionych w recenzji własnych i oryginalnych osiągnięć Autora.

5. Uwagi natury stylistyczno - redakcyjnej:

Pod względem stylistyczno-redakcyjnym przesłana do powtórnej recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego w zdecydowanej większości została poprawiona, choć niekoniecznie z nadmierną starannością:

- Autor ponownie nie ustrzegł się licznych tzw. literówek.
- Pojawiła się również niezgodność danych na rysunku z podpisem pod rysunkiem (Rys. 67).
- W stosunku do pierwotnej wersji pracy w aktualnie recenzowanej tylko raz pojawiło się sformułowanie o *wytrzymałości na ściskanie* (str. 47). Wszystkie pozostałe błędne zapisy Doktorant skrupulatnie poprawił.
- W Załączniku A pojawił się parametr *Skemtona*, choć tak naprawdę jest to parametr *Skempton*.
- Nie zauważono w tekście odwołania do Załącznika D i zamieszczonych tam rysunków. Nie można więc stwierdzić jednoznacznie czy zostały one skomentowane przez Autora.
- Najwięcej zastrzeżeń budzi w dalszym ciągu Bibliografia, w której publikacje nie wszędzie umieszczono alfabetycznie (m.in. w obrębie liter H lub L). Ponadto 6 pozycji wymienionych w tekście nie ma w spisie (*Triantafyllidis i in.* 2004; *Chai i Miura* 2002; *Hveem* 1950; *Li i in.* 2011; *Cary i Zapata* 2016; *Cai i in.* 2016), dla 2 pozycji w tekście błędnie podano autorów (*Qian i in.* 2016; *Idriss* 1978), a dla jednej zły rok (*Sas i in.* 2013b). W zestawieniu literatury pojawiają się 3 pozycje, do których nie ma powołań w tekście (*Chai i Miura* 2011; *Sas i in.* 2013; *Triantafyllidis i in.* 2005) oraz dwukrotnie powtórzono tę samą publikację (*Li i in.* 2011).
- Z kolei na korzyść Doktoranta przemawiają dołączone spisy rysunków, tabel i stosowanych oznaczeń.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione w pracy rezultaty, a także aplikacyjny zakres poruszanych w niej problemów oraz doceniając jakość i precyzję zrealizowanych cyklicznych badań trójosiowych, oceniam recenzowaną rozprawę bardzo dobrze. Rozprawa ta stanowi oryginalną propozycję rozwiązania problemu naukowego oraz wykazuje dobry poziom wiedzy teoretycznej kandydata w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo. Stwierdzone w rozprawie uchybienia i kwestie dyskusyjne w większości są moim osobistym poglądem na rozważane problemy badawcze i nie obniżają ogólnej oceny rozprawy.

W związku z tym we wniosku końcowym stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule z zakresu sztuki wraz z późniejszymi zmianami, i wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. Andrzeja Głuchowskiego do publicznej obrony.



dr hab. inż. Małgorzata Jastrzębska, prof. nzw. PŚ