



Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

Gdańsk, 21.08.2018 r.

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Emila Sobóla pt.: „Czynniki warunkujące tłumienia fal sejsmicznych w gruntach spoistych”.

1. Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Emila Sobóla pt.: „Czynniki warunkujące tłumienia fal sejsmicznych w gruntach spoistych” opracowałem na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie dr. hab. inż. Eugeniusza Kody, prof. nadzwyczajnego SGGW, z dnia 27.07.2018 roku.

Praca doktorska zawiera 245 stron treści, w tym: spis treści, 182 pozycje literatury, wykaz wybranych symboli i oznaczeń, spis 122 rysunków i 40 tablic oraz streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

2. Treść pracy

Praca składa się z siedmiu rozdziałów.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do pracy doktorskiej i obejmuje:

- uzasadnienie podjęcia badań współczynnika tłumienia gruntów spoistych w funkcji odkształcenia postaciowego i jego wyznaczenie w zmodyfikowanej kolumnie rezonansowej,
- hipotezę badawczą i określenie celu pracy.

Celem pracy jest wyodrębnienie i analiza czynników wpływających na wartość współczynnika tłumienia gruntów spoistych w zakresie małych i średnich odkształceń.

Swoje wywody w pracy Autor oparł na przyjętej hipotezie, że współczynnik tłumienia gruntów spoistych zależy od zakresu przewidywanych odkształceń postaciowych, naprężenia efektywnego i spójności.

W obszernym rozdziale drugim zatytułowanym: „Tłumienie fal sejsmicznych w świetle literatury”. Autor omawia syntetycznie: rodzaje fal w przyrodzie i mechanizmy tłumienia (ruch harmoniczny), tłumione drgania swobodne, drgania wymuszone i rezonans), parametry opisujące sztywność gruntu i nieliniową zmienność parametrów odkształceniowych oraz współczynnika tłumienia (zmiana reakcji gruntu w wyniku działania obciążenia w zakresie małych i średnich odkształceń, moduły sztywności w warunkach obciążeń statycznych i

dynamicznych w funkcji odkształcenia postaciowego), czynniki warunkujące tłumienie i sztywność gruntu (zestawienie tabelaryczne badań obcych, wartość odkształcenia postaciowego, naprężenie efektywne, historia naprężenia i wskaźnik prekonsolidacji OCR_L , wskaźnik plastyczności I_p i wskaźnik porowatości e).

Rozdział trzeci zatytułowany „Przegląd metod badań gruntu w warunkach obciążeń dynamicznych” obejmuje następujące zagadnienia:

- zestawienie różnych rodzajów badań terenowych i laboratoryjnych z głównym naciskiem położonym na badania laboratoryjne,
- omówienie badań terenowych i sejsmikę powierzchniową - zasady działań pomiaru parametrów fali sejsmicznej,
- sejsmiczne metody otworowe oraz sondowania sejsmiczne,
- badania laboratoryjne (aparatury trójosiowe klasyczne z elementami piezoelektrycznymi), cykliczny aparat skrętny, kolumna rezonansowa.

Rozdział czwarty dotyczy opisu aparatury zastosowanej do badań własnych i opisu metodyki badawczej.

Autor omówił w rozdziale szczegółowo budowę zmodyfikowanej kolumny rezonansowej wykorzystanej do badań własnych. Szczegółowo opisał zastosowaną metodykę badawczą (przygotowanie próbek gruntu spoistego do badań w warunkach obciążeń dynamicznych, metodę wyznaczania modułu odkształcenia postaciowego G , określenie współczynnika tłumienia D na podstawie analiz wyników krzywych z badań:

- krzywej gaśnięcia drgań swobodnych jako współczynnik tłumienia $D = \frac{\text{wartość tłumienia}}{\text{wartość tłumienia krytycznego}}$
- krzywej zależności częstotliwości drgań od amplitudy uzyskanej w każdym badaniu częstotliwości rezonansowej (jest to tak zwana analiza szerokości pasma połowy mocy),
- pętli histerezy w trybie cyklicznego skręcania.

Określenie wartości odkształcenia postaciowego na podstawie badań w kolumnie rezonansowej. Następnie opisano sposób przeprowadzania kalibracji kolumny rezonansowej.

Rozdział piąty dotyczy omówienia wyników badań własnych .

W rozdziale podano:

- opis miejsca poboru nienaruszonych próbek gruntu spoistego do badań
- program badań każdej z wybranych 15 próbek (właściwości fizyczne i skład granulometryczny, badania edometryczne , badanie wartości ciśnienia pęcznienia, stosowane naprężenie prekonsolidacji,
- szczegółowy opis materiału badawczego wraz z zastosowaniem podstawowych właściwości fizycznych i zakresu badań w kolumnie rezonansowej,
- wyniki badań edometrycznych,
- wyniki badań tłumienia,

- określenie współczynnika tłumienia – porównanie metod obejmujące metodę logarytmicznej dekrementacji opartej na krzywej gaśnięcia drgań swobodnych (KGDS) i metodę opartą na analizie pasma połowy mocy (APPM) oraz przedstawiono uzyskane wyniki badawcze współczynnika tłumienia,
- statystyczna ocena wiarygodności metody opartej na krzywej gaśnięcia drgań swobodnych w funkcji liczby cykli drgań i danego wskaźnika plastyczności,
- określenie współczynnika tłumienia D_{CD} na podstawie uzyskanych własnych wyników badawczych z uwzględnieniem wpływu odkształcenia postaciowego, naprężenia efektywnego, wskaźnika porowatości, historii naprężenia, rodzaju gruntu, częstotliwości drgań i znormalizowanego odkształcenia postaciowego.

W tym rozdziale Autor podał również wyniki badań modułu odkształcenia postaciowego.

Rozdział szósty dotyczy interpretacji uzyskanych wyników badawczych. W wprowadzeniu do rozdziału Autor podał również zakres przeprowadzonej analizy wyników badawczych. Zamieszczono schemat (algorytm) przeprowadzonych prac i analiz dotyczących współczynnika tłumienia gruntów spoistych poddanych działaniu obciążeń dynamicznych. Analizę przeprowadzono programem Microsoft Exel i dodatkowo programem Statistica firmy Statsoft oraz analizę korekcyjną i analizę czynnikową.

W analizie statystycznej Autor przeprowadził:

- ocenę wyników badań własnych tłumienia D_{CD} ,
- normalizację rozkładu wyników badawczych opartą na założeniu normalności rozkładu wartości zmiennych losowych i rozkładów normalnych współczynnika tłumienia,
- korelację określenia cechy zależnej i niezależnej i współczynnika Pearsona służący do ustalania kierunku i siły zależności dwóch cech,
- utworzenie ogólnej zależności empirycznej do opisu tłumienia i wyznaczenie krzywej wzrostu współczynnika tłumienia, podział badanych gruntów spoistych ze względu na spójność na dwie grupy według wartości ich wskaźnika plastyczności,
- analizę regresji pozwalającą na określenie powiązania między zmiennymi (parametrami), to znaczy zmienną niezależną (objaśniającą) a zmienną zależną (objaśnianą) za pomocą funkcji regresji,
- analizę błędów wyników badawczych uzyskanych z autorskich równań empirycznych pięciu innych obcych autorów. Podsumowaniem analizy błędów są wyniki zestawione w tabeli 6.25,
- autorska propozycja zależności empirycznych służąca do opisu właściwości tłumienia wybranych gruntów spoistych.

Rozdział siódmy obejmuje podsumowanie i wnioski. Autor podzielił wnioski z przeprowadzonych prac na trzy grupy. W każdej grupie szczegółowo podsumował najważniejsze elementy swojej pracy sformułowane w postaci wniosków. Są to:

- wnioski dotyczące technik badawczych współczynnika tłumienia,
- wnioski dotyczące czynników wpływających na współczynnik tłumienia oraz moduł odkształcenia postaciowego,

- wnioski dotyczące przeprowadzonej analizy statystycznej.

W zakończeniu tego rozdziału Autor podał krótki program dalszych prac w tematyce badań oddziaływania gruntów spoistych w warunkach obciążeń dynamicznych.

3. Ocena pracy

Podjęta przez doktoranta tematyka badań tłumienia drgań w gruntach spoistych stanowi bardzo ważny temat badawczy, a także praktyczny. Chodzi tu głównie o działania sejsmiczne i parasejsmiczne, a także drgania wywołane różnego rodzaju działaniami urządzeń i maszyn, a także człowieka (wybuchy i mikrowybuchy w gruntach). Dotychczasowe badania tego zagadnienia ograniczały się głównie do badań w gruntach niespoistych traktowanych w mechanice gruntów jako ośrodki ziarniste. Niewiele jest w literaturze, szczególnie zagranicznej, badań oddziaływań dynamicznych w gruntach spoistych. Autor podjął się tego bardzo ważnego tematu dzięki wyposażeniu Laboratorium Centrum Wodne będącego częścią Katedry Geoinżynierii na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie, zmodyfikowanej kolumny rezonansowej, w której można przeprowadzić badania drgań próbek gruntów spoistych. Autor postawił sobie za cel pracy wyodrębnienie i analizę czynników wpływających na wartości współczynnika tłumienia D gruntów spoistych oraz opracowanie zależności empirycznej w funkcji określonych czynników służących do wyznaczenia współczynnika tłumienia gruntów spoistych w zakresie małych i średnich odkształceń.

Cel ten konsekwentnie realizował poprzez szeroki, wnikliwy i krytyczny przegląd literatury dotyczący tematyki tłumienia drgań w gruntach. Z tego obszernego przeglądu literatury uszeregowanego według różnych czynników wpływających na tłumienia drgań najważniejszymi czynnikami wpływającymi na moduł odkształcenia postaciowego (G) i współczynnik tłumienia (D) są: wartość odkształcenia postaciowego, naprężenie efektywne i wskaźnik plastyczności. W swoich własnych analizach doktorant uwzględnił również wskaźnik prekonsolidacji (OCR) i wskaźnik porowatości (e). W przedstawionym przeglądzie metod badania gruntu poddanego obciążeniu dynamicznemu doktorant wykonał badania modułu odkształcenia postaciowego i współczynnika tłumienia w zmodyfikowanej komorze rezonansowej, wskazując jednocześnie na potrzebę zachowania precyzji i złożoność prowadzenia tego rodzaju badań w kolumnie rezonansowej. Czynności te opanował perfekcyjnie poprzez precyzyjne przygotowanie i ustawienie próbek oraz zastosowaną metodykę badań w określeniu cykli badań. Pełny opis stanowiska badawczego i metodyki badań pozwolił doktorantowi na uzyskanie wiarygodnych wyników badań i sformułowanie zależności empirycznej określenia współczynnika tłumienia naturalnych gruntów spoistych przy małych i średnich odkształceniach.

W przedstawieniu wyników badań własnych otrzymanych po dokładnym określeniu właściwości fizycznych i odkształceniowych nienaruszonych próbek badanego gruntu spoistego porównano wartości współczynnika tłumienia otrzymane różnymi metodami, pozwoliło doktorantowi na wybranie wyników z najwłaściwszej metody do dalszej analizy. W przedstawionych wynikach uwzględniono wpływ badanych wcześniej czynników na określenie wartości współczynnika tłumienia. Do prezentowanych wyników należą wartości modułu odkształcenia postaciowego G uzyskane w standardowych badaniach rezonansowych. Na

szczególne podkreślenie zasługuje staranność i precyzja prowadzonych badań, co pozwoliło na uzyskanie jednoznacznej odpowiedzi w postaci prezentowanych wyników.

Przy określeniu współczynnika tłumienia celem badań różnymi metodami było wyłonienie najwłaściwszej metodyki badań, dzięki której uzyskane wartości współczynnika tłumienia są najwiarygodniejsze.

Doktorant przeprowadził statystyczną ocenę wiarygodności ponad 36 000 wyników badań metodą krzywej gaśnięcia drgań swobodnych (KGDS) z uwzględnieniem wpływu: odkształcenia postaciowego, naprężenia efektywnego (p'), wskaźnika porowatości (e), historii naprężenia (OCR), rodzaju gruntu, częstotliwości drgań i znormalizowanego modułu odkształcenia postaciowego.

Z przeprowadzonej analizy wyników badań wynikało, że najlepszą metodą jest metoda KGDS – krzywa gaśnięcia drgań swobodnych i dobór liczby cykli. Odrzucono drugą metodę oceny wyników opartą na połowie mocy. Z analizy najważniejszych czynników wpływających na wartość współczynnika tłumienia stwierdzono znaczący wpływ wskaźnika porowatości, uważany w dotychczasowych badaniach za mało znaczący.

Doktorant uzyskał również potwierdzenie, że wskaźnik prekonsolidacji OCR nie wpływa na wartość współczynnika tłumienia. Natomiast wskaźnik plastyczności gruntu I_p ma duże znaczenie na określenie właściwości tłumienia.

Autor opracował tabelę (tabela 5.2), w której podał na podstawie swoich badań ważność poszczególnych wyników mających wpływ na wartość współczynnika tłumienia.

Przedstawione własne wyniki badań doktorant przygotował ze szczególną starannością, wnikliwie analizując poszczególne wpływy i dobór metody ich oszacowania.

Zdaniem recenzenta są to wyniki w pełni wiarygodne i służyć mogą do dalszej interpretacji.

Na szczególne podkreślenie zasługuje analiza statystyczna wyników badań laboratoryjnych współczynnika tłumienia. Ocena wyników pomiaru, w którym każdy był powtarzany dziesięciokrotnie, a następnie obliczono średnią arytmetyczną z tych dziesięciu pomiarów jednej wartości współczynnika tłumienia. Następnie doktorant zastosował w opracowaniu wyników ich normalizację rozkładu i przeprowadził analizę korelacji. Wykazał współzależność znormalizowanego modułu odkształcenia G/G_{max} , prędkości fali v_s i współczynnika porowatości e (co nie eliminuje pozostałych parametrów wpływu na współczynnik tłumienia).

Na podstawie tych trzech parametrów utworzył ogólną zależność empiryczną opisującą tłumienia i pozwalającą wyznaczyć krzywą wzrostu współczynnika tłumienia.

Ze względu na znane trudności jednoznacznego określenia prędkości fali poprzecznej doktorant uwzględnił spójność gruntu wyrażoną przez wskaźnik plastyczności I_p . Przyjmując wartości współczynnika $I_p = 20\%$ jako granicą podziału gruntu spoistego, wyodrębnił jego dwie grupy: grunty mało i średnio spoiste i grunty zwarte i bardzo zwarte. Ten zabieg pozwolił doktorantowi na wyeliminowanie prędkości fali poprzecznej v_s jako parametru zależności empirycznych tłumienia i zmniejszyć średni błąd względny w każdym rozpatrywanym przypadku dwóch grup gruntów spoistych w funkcji wskaźnika plastyczności I_p .

W wyniku przeprowadzonych obliczeń, przy przyjętym wskaźniku plastyczności jako parametru tłumienia, doktorant podał ostateczne zależności obliczania współczynnika tłumienia wszystkich przebadanych próbek gruntu spoistego i jego minimalnej wartości.

Po przeprowadzeniu szczegółowej analizie błędów według nowego podziału gruntu spoistego, doktorant zaproponował autorską propozycję zależności empirycznych właściwości tłumienia (współczynnik tłumienia D_{CD} i jego wartość minimalną D_{CDMIN}) wybranych gruntów spoistych opisanych wzorami (6.13), (6.14), (6.15) i (6.16).

Przedstawione tu rozwiązania oparte na matematycznych analizach oszacowania wiarygodności i poprawności wywodów oceniam bardzo wysoko.

Przedstawione wnioski końcowe są bardzo szczegółowe i stanowią podsumowania uzyskanych wyników badawczych. Uważam je za udowodnione.

4. Uwagi krytyczne

Uwag krytycznych do pracy doktorskiej nie zgłaszam.

Mam pewne pytania do niektórych rozdziałów pracy.

1. Rozdział 3. Omawiając działania sejsmiczne i powołując się na literaturę, doktorant pominął pozycję polską „Fundamentowanie t. 1 rozdz. 10 'Fundamentowanie na terenach sejsmicznych' autorstwa niniejszego recenzenta. Książka dwutomowa: K. Biernatowski, E. Dembicki (redaktor prowadzący), K. Dzierżawski, W. Wolski, Wyd. Arkady, 1987 i 1988.
2. Punkt 5. Miejsca poboru materiału badawczego. Brak sprecyzowania nazwy gruntów spoistych próbek pobranych na głębokości od 2 do 7,5 m.
3. Rozdział 6. Punkt 6.2.4.
 - brak wyjaśnienia obliczeń współczynników a , b , c , ..., g zaproponowanych zależności określenia D_{CD} dwóch grup gruntów spoistych,
 - brak wyjaśnienia proponowanej budowy funkcji predykcji.
4. Drobne uwagi stylistyczne zaznaczyłem w tekście recenzowanej pracy, dobrze byłoby je uwzględnić przy redakcji pracy do druku.

5. Podsumowanie

Podsumowując moją opinię o pracy doktorskiej mgr. inż. Emila Sobóla pt.: „Czynniki warunkujące tłumienia fal sejsmicznych w gruntach spoistych”, stwierdzam, że Autor:

1. Przeprowadził kompleksowe badania laboratoryjne i szeroko ujęte analizy statystyczne uzyskanych wyników badawczych w celu określenia zasadniczych czynników wpływających na tłumienie fal sejsmicznych w gruntach spoistych.
2. Przeprowadził bardzo złożone badania w kolumnie rezonansowej określenia współczynnika tłumienia na wybranych gruntach spoistych pochodzących z trzech miejsc zalegania.
3. Przeprowadził pełną analizę statystyczną otrzymanej bardzo dużej liczby pomiarów wyników badawczych wraz z oznaczeniem błędów pomiarów.
4. Podał główne czynniki wpływające na tłumienie wraz ze sposobem podziału gruntu na dwie grupy umożliwiające zastąpienie prędkości fali poprzecznej oddziaływania

sejsmicznego wpływem spójności gruntu spoistego poprzez wskaźnik plastyczności.

5. zaproponował analityczne zależności określenia współczynnika tłumienia i jego minimalnej wartości.
6. Przeprowadził szeroką weryfikację uzyskanych analitycznych zależności jako funkcje wyznaczonych czynników wpływających na wartość współczynnika tłumienia badanych gruntów spoistych.
7. Wykazał dużą wiedzę i umiejętność prowadzenia badań w kolumnie rezonansowej i innych badań parametrów geotechnicznych oraz matematycznego opracowania losowych wyników badań.
8. Przedstawione w pracy propozycje określenia czynników wpływających na badany współczynnik tłumienia wyznaczony zależnościami Autora oraz ich weryfikacji uważam za udowodnione. Spełniają one określony przez Autora cel i zakres pracy doktorskiej.
9. Doktorant napisał swoją pracę doktorską spójnie merytorycznie, przejrzystie, wartkim i poprawnym językiem.

W wniosku końcowym stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Emila Sobóla w całej pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym z zakresu sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. Zm.) i wnoszę o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony swojej pracy.



Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki