

Gdańsk, dnia 19 września 2017 roku

dr hab. inż. Lech Bałachowski, prof. nadzw. Politechniki Gdańskiej
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Pietrzak
pt. „The influence of inertia forces on soil settlement under harmonic loading ”
promotor: prof. dr hab. inż. Bogumił Wrana

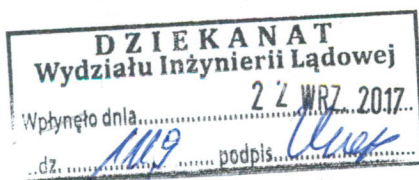
1. Podstawa opracowania

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej sporządziłem na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej zgodnie z uchwałą z dnia 21 czerwca 2017 roku na podstawie otrzymanego egzemplarza rozprawy. Oceny pracy dokonałem odnosząc się do przepisów *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami)*.

2. Tematyka i cel rozprawy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Natalii Pietrzak jest ocena osiadań podłoża poddanego obciążeniu harmonicznemu. Rozprawa doktorska dotyczy ważnego z punktu widzenia naukowego zagadnienia osiadań gruntów w pełni nawodnionych z uwzględnieniem wpływu sił bezwładności. Tematyka ta jest szczególnie aktualna w analizach geotechnicznych takich zagadnień jak: projektowanie fundamentów pod maszyny, propagacja drgań w gruncie, uwzględnianie wpływu obciążeń sejsmicznych i dynamicznych na współpracę konstrukcji i gruntu, zagęszczanie gruntów niespoistych metodą mikrowybuchów lub wibroflotacji, czy analiza wpływu falowania na mobilizację ciśnienia wody w porach gruntu i stateczność konstrukcji pełnomorskich. Tematyka rozprawy stanowi jedno z istotniejszych zagadnień współczesnej geotechniki.

Celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Pietrzak jest ocena wpływu sił bezwładności na wielkość osiadań gruntu nawodnionego poddanego obciążeniu harmonicznemu z uwzględnieniem trzech zaawansowanych modeli podłoża tj. modelu konsolidacji dynamicznej Biota, uproszczonego modelu dynamicznego u-p oraz modelu quasi-statycznego. W przedstawionej rozprawie Autorka przeprowadza złożone obliczenia i analizy numeryczne, rozpatrując osiadanie podłoża w jednoosiowym lub w płaskim stanie odkształcenia.



3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca jest obszernym opracowaniem naukowym obejmującym 138 stron tekstu, w tym aneks dotyczący opisu metody MES w płaskim stanie odkształcenia, streszczenie pracy w języku polskim i angielskim oraz bibliografię. Rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim, poprawnie pod względem gramatycznym i stylistycznym.

Doktorantka podzieliła tekst pracy na 7 rozdziałów. Krótki rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do analizowanych zagadnień, w którym Autorka przedstawia motywację do podjęcia danej tematyki badawczej, cel i zakres pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono rys historyczny dotyczący pojęć i opisu ośrodka porowatego oraz stosowanych modeli dwufazowych w zagadnieniach konsolidacji takiego ośrodka w warunkach obciążeń statycznych, cyklicznych i dynamicznych. Uwzględniono opis podstawowego modelu Biota izotropowego liniowo-sprężystego ośrodka porowatego wypełnionego cieczą lepką oraz przedstawiono typowe warunki brzegowe. Autorka wspomina również o bardziej zaawansowanych modelach gruntu anizotropowego i nieliniowo-sprężystego oraz wprowadza pojęcia związane z teorią mieszanin. Przedstawia przypadki obciążeń podłoża fundamentem pasmowym i płytowym, analizuje warunki brzegowe dotyczące odpływu wody oraz rozkłady osiadania podłoża.

W rozdziale trzecim, Autorka przedstawia opis rozchodzenia się fal sprężystych w półprzestrzeni gruntowej w ośrodku jednofazowym z uwzględnieniem fal ściskających, ścinających oraz fal powierzchniowych. Analizuje również rozchodzenie się fal w ośrodku dwufazowym (szkielet gruntowy-woda), rozpatrując zachowanie się takiej mieszaniny w skali mikro i makro. Doktorantka rozpatruje rozchodzenie się nietłumionych fal typu P (szybkich i wolnych) oraz fal ścinających. W kolejnym podrozdziale przedstawia równania ruchu w ośrodku trójfazowym oraz rozchodzenie się w nim fal ściskających oraz ścinających, zakładając trzy przypadki wzajemnego ruchu poszczególnych faz ośrodka. Rozdział ten kończy się krótkim podsumowaniem.

Rozdział czwarty zawiera zwięzły opis zależności konstytutywnych oraz równań równowagi dwufazowego ośrodka gruntowego. Przedstawiono również zastosowane warunki brzegowe i początkowe dotyczące fazy szkieletu gruntowego i wody.

Rozdział piąty stanowi zasadniczy element rozprawy i poświęcony jest zagadnieniu zachowania się jednowymiarowego ośrodka dwufazowego (szkielet gruntowy-woda) pod wpływem obciążeń harmonicznym przykładanych na powierzchni terenu. Doktorantka wykorzystuje trzy modele konsolidacji: model Biota, uproszczony model dynamiczny u-p, w którym zakłada się jedynie przyspieszenia szkieletu gruntowego, a pomija przyspieszenia płynu oraz model quasi-statyczny, gdzie nie uwzględnia się sił bezwładności. Autorka rozpatruje kolumnę Biota i przedstawia rozwiązania analityczne zachowania się warstwy piasku poddanego obciążeniu harmonicznemu działającego na powierzchni gruntu. Wyznacza rozkłady przemieszczeń pionowych szkieletu gruntowego i przemieszczeń względnych wody zawartej w porach oraz zmian ciśnienia wody w zależności od częstotliwości obciążenia. W rozdziale tym analizuje spektrum odpowiedzi układu w zakresie częstotliwości. Doktorantka rozpatruje przypadek gruntu w pełni nawodnionego oraz sytuację prawie pełnego nawodnienia, przy stopniu nasycenia gruntu wodą 95% i 99%. Analizuje wpływ współczynnika filtracji w funkcji częstotliwości i wyznacza amplitudę drgań szkieletu gruntowego na powierzchni terenu oraz prędkość fali ściskającej. Doktorantka określa rozkład przemieszczeń szkieletu gruntowego oraz płynu z głębokością przy częstotliwościach zbliżonych do rezonansowej w warunkach pełnego nasycenia gruntu wodą. Przedstawia współczynnik wzmocnienia w przypadku przemieszczeń szkieletu i płynu przy różnym stopniu nasycenia gruntu wodą przy

częstotliwościach zbliżonych do rezonansowej. Porównuje osiadania pod wpływem obciążenia harmonicznego z uzyskanymi przy obciążeniu statycznym. Analizuje również amplitudę ciśnienia wody w porach gruntu w zależności od częstotliwości oraz rozkład tego ciśnienia z głębokością przy częstotliwościach zbliżonych do rezonansowej.

W rozdziale szóstym rozszerzono powyższą analizę na przypadek płaskiego stanu odkształcenia stosując uproszczony model dynamiczny u-p, z uwzględnieniem macierzy ściśliwości wody. Sformułowano rozwiązanie metodą MES i wykonano obliczenia zmian przemieszczenia pionowego w czasie, ciśnienia wody w porach gruntu oraz składowych stanu naprężenia dla modelu zbudowanego z piasku lub gliny. Dodatkowo, przeprowadzono również obliczenia z uwzględnieniem konsolidacji, a uzyskane wyniki porównano w pewnym przedziale częstotliwości.

Rozdział siódmy stanowi podsumowanie rozprawy, w którym doktorantka zwięźle przedstawia wnioski z badań oraz kreśli plany badawcze na przyszłość.

4. Ocena merytoryczna pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Pietrzak dotyczy określenia wpływu sił bezwładności przy odpowiedzi układu na harmoniczne obciążenie gruntu na jego powierzchni. Doktorantka przyjmuje szereg założeń upraszczających dotyczących izotropii i liniowej sprężystości ośrodka, małych odkształceń, małej liczby cykli obciążenia oraz niskiej częstotliwości i rozpatruje przypadek stanu ustalonego. Uproszczenia te są całkowicie uprawnione biorąc pod uwagę złożoność problemu. Rozpatrywane zagadnienie traktowane jest bowiem jako sprzężone („coupled problem”), gdzie odkształcenia szkieletu gruntowego powodują zmiany ciśnienia wody w porach gruntu. Doktorantka stosuje trzy modele konsolidacji w pełni nawodnionego ośrodka gruntowego, które w różnym stopniu uwzględniają wpływ bezwładności szkieletu gruntowego i wody. Rozwiązuje zagadnienie analitycznie dla przypadku jednowymiarowego (kolumna Biota), wyznaczając rozkłady przemieszczeń szkieletu, względnych przemieszczeń wody oraz ciśnienia wody w porach gruntu przy różnych częstotliwościach. Uzyskane profile tych parametrów z głębokością wskazują, że różnice w odpowiedzi układu dla różnych modeli wzrastają wraz z częstotliwością obciążenia. Odpowiedź układu w modelu quasi-statycznym wyraźnie odbiega od pozostałych, co wynika z pominięcia sił bezwładności.

Ciekawym elementem pracy jest analiza współczynnika wzmocnienia drgań w gruntach o różnej wodoprzepuszczalności oraz przy niepełnym nasyceniu porów gruntu wodą ($S_r \geq 95\%$). Niewielkie zmniejszenie stopnia nasycenia gruntu wodą powoduje zasadniczy przyrost wartości współczynnika wzmocnienia drgań szkieletu gruntowego oraz istotne zmniejszenie prędkości fali ściskającej. Amplituda zmian ciśnienia wody wzrasta skokowo nawet przy niewielkim obniżeniu stopnia nasycenia wodą ($S_r = 99\%$) – rys.5.24. Odwrotna tendencja dotycząca ciśnienia wody w porach gruntu przedstawiona jest na rys.5.26. Bardzo wysoko oceniam przeprowadzone w tym zakresie analizy.

Bardzo istotnym elementem pracy jest analiza uproszczonego modelu u-p z uwzględnieniem wpływu ściśliwości wody oraz z pominięciem zmian ciśnienia wody w czasie. Doktorantka ocenia wpływ tych uproszczeń na mobilizację ciśnienia wody oraz naprężeń całkowitych i efektywnych w gruncie przy różnych częstotliwościach drgań. Podkreśla, że rozbieżności odpowiedzi układu przy zastosowaniu poszczególnych modeli wzrastają wraz z poziomem częstotliwości.

Za najważniejsze elementy oryginalne rozprawy doktorskiej, stanowiące własny dorobek naukowy doktorantki, należy uznać:

- rozwiązanie analityczne dotyczące przemieszczeń pionowych szkieletu i wody oraz ciśnienia wody w kolumnie Biota poddanej obciążeniu harmonicznemu,
- wyznaczenie współczynników wzmocnienia i porównanie osiadań podłoża pod wpływem obciążeń harmonicznymi i statycznymi,
- opracowanie własnego autorskiego programu komputerowego wykorzystującego model u-p,
- wykazanie istotnych różnic w odpowiedzi układu przy pełnym nasyceniu wodą i w warunkach prawie pełnego nasycenia podłoża ($S_r \geq 95\%$),
- wykazanie wpływu ścisłości wody w rozwiązaniach uproszczonego modelu u-p na amplitudę drgań i ciśnienie wody w porach gruntu,
- pokazanie ograniczeń modeli uproszczonych w uwzględnianiu wpływu sił bezwładności.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Autorka analizuje zagadnienie stacjonarne, podkreślając że rozpatruje zachowanie się modelu w krótkim przedziale czasu, gdy konsolidacja gruntu zachodzi w niewielkim stopniu. Rozpatruje jedynie niewielką liczbę cykli obciążenia, zakłada liniowo-sprężysty model gruntu i małe odkształcenia oraz niski zakres częstotliwości obciążenia. Pomija jednak tak istotne zagadnienia praktyczne jak akumulacja odkształceń, przyrost ciśnienia wody w porach gruntu przy dużej liczbie cykli, czy zjawisko upłynnienia gruntu. Jest to jednak w pełni zrozumiałe, biorąc pod uwagę złożoność i obszerność rozpatrywanego zagadnienia. W czasie lektury pracy nasunęły mi się jednak pewne o charakterze krytycznym lub dyskusyjnym, które przedstawiam poniżej:

- Str. 32. Co oznacza stwierdzenie, że długość fali jest duża w prównaniu do objętości reprezentatywnej (REV)?

- Str.70. Obciążenie na rys. 5.1 powinno być przyłożone na całej powierzchni. Co oznacza współczynnik $\beta=1/3$, jaki to płyn?

Założono, że przemieszczenia szkieletu i przemieszczenia cieczy są równe zero na brzegu dolnym kolumny Biota, może tam się jednak generować ciśnienie wody w porach gruntu. Jak wytłumaczyć bardzo nieregularne rozkłady tego ciśnienia z głębokością przy różnych częstotliwościach? Jak określić zasięg oddziaływania obciążenia i dobrać wysokość kolumny L?

W obliczeniach kolumny Biota wykorzystywane są dwa rodzaje gruntów o wysokiej wodoprzepuszczalności (żwir i piasek). Zastosowanie w obliczeniach jednego materiału o tych samych parametrach zwiększyłoby przejrzystość i spójność przedstawionych wyników.

Str. 84. Czym wytłumaczyć wyższą wartość wzmocnienia przemieszczeń szkieletu w przypadku niepełnego nasycenia porów gruntu wodą. Co oznacza mniejsze wzmocnienie w przypadku obciążeń cyklicznych niż statycznych?

Str. 86. Dlaczego prędkość fali ściskającej na wykresie 5.18 jest ujemna?

Str. 89. Co oznacza sformułowanie: For the static case fluid damping is considerable?

Str. 94. We wnioskach podsumowujących rozdział 5 pojawiają się niezdefiniowane pojęcia dotyczące tłumienia „undamped” i „overdumped”. Co one oznaczają?

Str. 102. Czy konsolidacja gruntu zachodzi tylko pod obciążeniem statycznym?

Str. 110. Dlaczego wskutek obciążeń harmoniczných składowa pozioma naprężenia w gruncie zmienia się bardziej niż składowa pionowa?

Wykresy przedstawione w rozdziale 6.3.3.2 dotyczą punktu położonego blisko powierzchni gruntu. Jaki wpływ na wyniki obliczeń ma poziom naprężenia geostatycznego? Czy w rozwiązaniu możliwe jest uzyskanie zaniku zmian naprężenia z głębokością (fale o coraz mniejszej amplitudzie)?

Str. 116. Omyłkowo podano: skeleton being stiff and incompressible. Powinno być: woda zachowuje się neutralnie w stosunku do szkieletu.

Przedstawiona rozprawa doktorska napisana jest na ogół w sposób przejrzysty i zrozumiały. Zdarzają się jednak drobne błędy językowe, interpunkcyjne i edytorskie. Zazaczyłem je w recenzowanym tekście pracy oraz przekazałem Doktorantce. Poniżej podaję kilka uwag dotyczących strony formalnej rozprawy doktorskiej:

- W spisie literatury zabrakło kilku prac przytoczonych w rozdziale 2. W niektórych przypadkach nie podano roku publikacji.
- Istotnym mankamentem rozprawy jest brak spisu oznaczeń i niekiedy niespójne oznaczenia, co utrudnia lekturę rozprawy.
- Na str. 40 i 41 zamieszczono nieczytelne wzory.
- Na str. 80 zamiennie stosowane są oznaczenia S_r i S .
- Na str. 88 brakuje równania (5.47) dla fazy szkieletu, do którego występuje odwołanie.

Pragnę jednak podkreślić, że powyższe uwagi krytyczne nie pomniejszają w sposób istotny przedstawionych w rozprawie doktorskiej własnych i oryginalnych osiągnięć Autorki.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Pietrzak stanowi cenny materiał badawczy dotyczący tematyki naukowej gruntów nawodnionych poddanych obciążeniom cyklicznym. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi oryginalne elementy poznawcze. Oceniana rozprawa doktorska całkowicie spełnia wymogi określone w odpowiednich przepisach. Pragnę podkreślić, że Autorka wykazuje się w rozprawie ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Budownictwo oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych. Zawarte w pracy sformułowania i rozwiązania problemu badawczego potwierdzają, że Doktorantka zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) sprostaa wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Natalii Pietrzak pt. „The Influence of Inertia Forces on Soil Settlement under Harmonic Loading (pol. Wpływ sił bezwładności na osiadanie gruntu poddanego obciążeniu harmonicznemu)” do publicznej obrony.

Jatšcharnki Lulu