

Gdańsk, 29.04.2021

Prof. dr hab. inż. Waldemar Świdziński,
Instytut Budownictwa Wodnego PAN
80-328 Gdańsk-Oliwa
Kościerska 7
Email: waldek@ibwpan.gda.pl

**RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Aleksandry Wawrzyńskiej pt.:**

„Wpływ fali stojącej Stokesa na cykliczne upłynnienie gruntu dna morskiego w sąsiedztwie falochronu pionowościenne go posadowionego na dnie piaszczystym”

Promotor: dr hab. inż. Waldemar Magda, prof. uczelni

1. Uwagi wstępne i krótka charakterystyka pracy

Niniejszą recenzję wykonałem na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej pismo z dnia 20 stycznia 2021r.

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Wawrzyńskiej w ogólności poświęcona jest numerycznej analizie wpływu falowania opisanego falą stojącą, ze szczególnym uwzględnieniem fali Stokesa, na podatność dna morskiego na zjawisko jego upłynnienia w pobliżu grawitacyjnego falochronu o pionowych ścianach.

Przedstawiona mi do oceny praca liczy ogółem 186 stron, 107 rysunków, 2 tabele oraz 186 pozycji literatury. Pracę podzielono na 7 rozdziałów, z wieloma podrozdziałami. Pracę uzupełnia wykaz ważniejszych oznaczeń, spis rysunków i tabel oraz krótkie streszczenia w języku polskim i angielskim zamieszczone na jej początku.

Pierwsze 4 z 7 rozdziałów stanowią wprowadzenie do tematu rozprawy i do zasadniczych wyników pracy Autorki.

W pierwszym rozdziale Autorka charakteryzuje podjęty przez nią problem badawczy. Przedstawia genezę pracy podając generalne podstawy zagadnienia współoddziaływania falowania morskiego i konstrukcji morskiej na grunt dna morskiego oraz związane z tym zagrożenia awarii takich konstrukcji wynikających z, wywołanych falowaniem, dodatkowych ciśnień porowych mogących prowadzić do utraty nośności dna morskiego. Wyróżnia tutaj dwa podstawowe zjawiska tj. cyklicznie zmienne ciśnienia wody w porach jako bezpośrednia sprężysta reakcja na falowanie oraz rezydualne ciśnienia wody w porach, które stopniowo narastają trwale wraz z utrzymującym się oddziaływaniem falowania wyjaśniając, że praca poświęcona jest wpływowi tego pierwszego zjawiska na stateczność monolitycznego, pionowościenne go, masywnego falochronu morskiego.

Na tej podstawie formułuje tezę badawczą pracy oraz założenia przyjęte do udowodnienia tej tezy. Należy zauważyć, że Autorka nie podaje literalnie celu pracy doktorskiej.

W rozdziale drugim doktorantka opisuje podstawowe cechy mechaniczne falowania powierzchniowego ze szczególnym odniesieniem do dwóch rodzajów fal stojących tj. liniowej fali sinusoidalnej oraz nieliniowej fali Stokesa drugiego rzędu.

Rozdział trzeci z kolei poświęcony jest wszechstronnemu przeglądowi literatury tematu przedstawiając i omawiając, historycznie rozwijane, różne teorie opisu cyklicznych zmian ciśnienia wody w porach gruntu dna morskiego przytaczając zarówno rozwiązania analityczne jak i numeryczne oraz wyniki badań prowadzonych w laboratorium i warunkach rzeczywistych weryfikujące omawiane teorie. Kolejno omawia pozycje literatury dotyczące zastosowania przytaczanych teorii do analizy zachowania się dna morskiego poddanego falowaniu w pobliżu konstrukcji morskich zwracając uwagę, że nie ma opracowań poświęconych opisowi wpływu nieliniowej fali stojącej Stokesa na chwilowe upłynnienie gruntu dna morskiego w pobliżu konstrukcji morskiej.

W rozdziale czwartym Autorka charakteryzuje grawitacyjne falochrony o pionowych ścianach oraz identyfikuje rodzaje potencjalnych zagrożeń oraz wynikających z nich mechanizmów zniszczenia takich konstrukcji. Definiuje podstawowe rodzaje obciążeń działających na konstrukcje falochronu oraz omawia inżynierskie metody obliczeniowe do wyznaczania obciążeń powstałych w wyniku oddziaływania falowania.

Rozdział piąty poświęcony został sformułowaniu numerycznemu zagadnienie interakcji falowanie – falochron – dno morskie w oparciu o przyjęte równania zagadnienia (równanie konsolidacji Biota, równanie zachowania masy, równania równowagi i sprężyste związki konstytutywne) oraz opisowi metody rozwiązania bazującej na elementach skończonych, która została zaimplementowana do autorskiego kodu numerycznego. Bazując na tym programie doktorantka wykonała serie symulacji numerycznych w ramach analizy parametrycznej dla zróżnicowanych warunków obciążenia falą, wpływu konstrukcji morskiej, warunków gruntowych, obecności podsypki pod falochronem, itd.

Z kolei w rozdziale szóstym przedstawiono wyniki symulacji numerycznych zjawiska chwilowego upłynnienia dna morskiego dla różnych warunków falowania oraz gruntowych.

Ostatni rozdział pracy (siódmy) zawiera podsumowanie oraz wnioski końcowe.

2. Ogólna ocena pracy

2.1 Ocena aktualności tematyki

Analiza reakcji dna morskiego na działanie falowania, szczególnie w strefie płytkowodnej, a przede wszystkim teoretyczna predykcja jego zachowania jest ciągle dużym wyzwaniem zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Problem jeszcze bardziej się komplikuje, gdy falowanie to jest zakłócone obecnością jakiegokolwiek konstrukcji morskiej. W chwili obecnej dysponujemy już bardzo zaawansowanymi narzędziami w postaci skomplikowanych modeli pracy materiału wraz z odpowiednimi kodami numerycznymi, które powinny stanowić dobrą bazę umożliwiającą nam prawidłowe odtworzenie pracy takich konstrukcji w warunkach *in situ*, choć czasami nie zawsze skutecznie. Niemniej jednak zagadnienie oddziaływania falowania morskiego na reakcję dna w pobliżu konstrukcji morskich jest ciągle przedmiotem prac i badań wielu badaczy związanych z tematyką morską. Jest to bez wątpienia częściowo związane ze skomplikowanym charakterem samego falowania oraz trudnościami z jego z wiarygodnym opisem teoretycznym, jak też z utrudnioną weryfikacją procesów zachodzących w rzeczywistym dnie morskim. Z drugiej strony praktyka inżynierska pokazuje, że reakcja dna morskiego na wywołane falowaniem siły hydrodynamiczne może mieć katastrofalne skutki powodujące awarie, a w ekstremalnych przypadkach zniszczenie konstrukcji posadowionych na

dnie. Jedną z podstawowych przyczyn jest upłynnienie się podłoża dna morskiego, zarówno to chwilowe spowodowane oddziaływaniem doliny fali, jak też powstałe w wyniku sukcesywnej akumulacji ciśnienia porowego wskutek oddziaływania większej ilości fal progresywnych w dłuższym czasie. Stąd podjęta przez doktorantkę tematyka analizy wpływu falowania na cykliczne zmiany ciśnienia porowego w dnie morskim w pobliżu masywnego falochronu uwzględniająca oddziaływanie fali Stokesa 2-go rzędu wydaje się jak najbardziej aktualna i ważna zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia.

2.2 Ocena pracy

Autorka w swojej pracy podjęła się zadania numerycznego wymodelowania reakcji piaszczystego dna morskiego na falowanie reprezentowane przez nieliniowe fale stojące Stokesa w pobliżu konstrukcji morskiej w postaci pionowościennego falochronu. Reakcja ta związana jest ze wzrostem ciśnienia porowego w gruncie budującym dno morskie, które może prowadzić do jego upłynnienia. W istocie Autorka analizuje przypadek chwilowego wzrostu ciśnienia porowego wywołanego oddziaływaniem hydrodynamicznym powodowanym w ogólności przez fale stojące, co w literaturze anglojęzycznej określane jest mianem momentary liquefaction. Stąd też sam tytuł pracy jak i zawarta w niej treść mogą wydawać się nieco mylące, gdyż używanie sformułowania cyklicznej zmienności ciśnienia porowego wiąże się zazwyczaj z zagadnieniem czasowym, w ramach którego rozwiązuje się problem sukcesywnej generacji ciśnienia porowego w funkcji liczby cykli działania fali na dno morskie. To drugie, choć w istocie o podobnej fizyce (wzrost ciśnienia porowego skutkujący spadkiem naprężeń efektywnych), jest nieco innym zjawiskiem określanym wśród badaczy zajmujących się hydrodynamicznym działaniem fal morskich jako residual liquefaction. Dla jasności i uzupełnienia, w mechanice gruntów, w części poświęconej zjawisku upłynnienia dominują nieco inne podejścia i związane z tym pojęcia jak statyczne upłynnienie, upłynnienie wywołane obciążeniem cyklicznym, czy też podatność cykliczna, wszystkie związane z generacją ciśnienia porowego prowadzącą w konsekwencji do utraty nośności gruntu, czy to typu naprężeniowego, czy odkształceniowego. Odpowiednikiem upłynnienia cyklicznego w mechanice gruntów jest residual liquefaction formułowane przez hydromechaników. W warunkach „lądowych” przypadek chwilowego upłynnienia praktycznie nie występuje, a jeżeli już to bardzo rzadko (np. w skutek sztucznego wywołania dodatkowego ciśnienia w nawodnionym ośrodku niespoistym spowodowanego np. iniekcją). Tak więc chwilowe upłynnienie jest wyłącznie cechą oddziaływania falowania na dno morskie. Dlatego też w opinii recenzenta w tytule pracy zamiast zwrotu wpływ fali stojącej Stokesa na cykliczne upłynnienie gruntu powinno być na chwilowe upłynnienie gruntu.

Oceny reakcji dna morskiego jako ośrodka dwufazowego na działanie fal morskich w pobliżu pionowościennego falochronu oraz jej wpływu na stateczność tej konstrukcji Autorka dokonuje wyłącznie w oparciu o wiele serii symulacji numerycznych dla różnych warunków fali oraz podłoża gruntowego. Dla rozwiązania zagadnienia numerycznego przyjmuje szereg upraszczających założeń odnośnie do rodzaju falowania, ośrodka gruntowego rodzaju przepływu wody oraz konstrukcji falochronu zakładając, że:

- ośrodek gruntowy budujący dno morskie to odkształcalny liniowo sprężyste, nie w pełni nasycony, izotropowy i jednorodny grunt piaszczysty o skończonej

miąższości zalegający nad sztywną, nieodkształcalną i nieprzepuszczalną warstwą gruntu,

- szkielet gruntowy i ciecz porowa jest ściśliwa, a jej przepływ jest laminarny, podlegający prawu Darcy,
- falochron jako ciężka, żelbetowa, monolityczna konstrukcja pionowościenna, posadowiona na żwirowej lub kamiennej podsypce jest konstrukcją nieodkształcalną,
- materiał podsypki to izotropowy i jednorodny grunt piaszczysty, zalegający nad dnem morskim, a przepływ cieczy porowej w podsypce jest również zgodny z prawem Darcy,

Z kolei falowanie powierzchniowe jest reprezentowane przez dwa rodzaje tj. liniowe, opisane funkcją harmoniczną zgodnie z liniową teorią fal o małej amplitudzie oraz falą Stokesa 2-go rzędu zgodnie z nieliniową teorią fal regularnych.

Na podstawie uzyskanych wyników Autorka formułuje tezę pracy, która mówi, że „cyklicznie zmienne ciśnienie wody w porach gruntu, wzbudzone oddziaływaniem fali powierzchniowej Stokesa 2-go rzędu, ma praktyczne znaczenie w ocenie stateczności pionowościennych monolitycznych falochronów stawianych”.

Analiza recenzowanej pracy doktorskiej skłania do generalnego wniosku, że dla udowodnienia tezy pracy Autorka opracowała własny program numeryczny w języku FORTRAN adoptując do rozwiązania zagadnienia numerycznego metodę elementów skończonych. Należy przy tym zauważyć, że praca ma wybitnie numeryczny charakter, gdyż Autorka nie przeprowadziła jakichkolwiek badań laboratoryjnych, czy polowych, a do weryfikacji modelu wykorzystwała dane literaturowe, co niekoniecznie umniejsza jej znaczenie i ocenę, aczkolwiek pozostaje pewien niedosyt związany z możliwością weryfikacji przyjętych założeń i otrzymanych wyników z własnymi badaniami modelowymi.

Na podkreślenie zasługuje wszechstronne i kompetentne odwoływanie się do pozycji literaturowych tematu, które jest szczególnie widoczne w początkowych 4 rozdziałach pracy, gdzie Autorka dokonuje wprowadzenia do tematyki opisu chwilowej reakcji gruntu piaszczystego zalegającego w dnie morskim na oddziaływanie fal w strefie o ograniczonej głębokości oraz istniejących propozycji rozwiązań tego zagadnienia zarówno dla przypadku dna bez jakiegokolwiek budowli morskiej jak też omawianego przypadku falochronu, przytaczając podejścia bazujące na rozwiązaniach czysto analitycznych poprzez rozwiązania numeryczne oraz na podejściach czysto empirycznych kończąc. Szkoda, że części cytowanych prac nie ma w spisie literatury.

To samo dotyczy opisu dynamiki dna morskiego pod konstrukcją falochronu jak też interakcji układu falowania, konstrukcji morskiej i dna morskiego, której analiza oparta jest na bogatym przeglądzie pozycji literaturowych analizujących różne scenariusze i podejścia. W podsumowaniu rozdziału 3 pracy Autorka konkluduje, że w żadnej z analizowanych publikacji dotyczących wpływu falochronu na rozkład chwilowego ciśnienia hydrodynamicznego powstałego w wyniku oddziaływania fal zarówno na dno jak i na falochron nie analizowano wpływu nieliniowej fali stojącej Stokesa na chwilowe upłynnienie gruntu przy jednoczesnym uwzględnieniu fizycznej obecności konstrukcji działającej na dno morskie. Jak należy mniemać stanowiło to motywację do podjęcia tematyki przedstawionej w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

Dużo uwagi poświęciła Autorka charakterystyce samej konstrukcji morskiej będącej elementem rozprawy w postaci masywnych falochronów pionowościennych omawianej w rozdziale czwartym rozprawy. Przedstawiła w nim główne rodzaje mechanizmów zniszczenia takich konstrukcji, lecz przede wszystkim ogólnie przyjęte inżynierskie metody wyznaczania sił hydrodynamicznych działających na tego rodzaju falochrony wraz ze szczegółową analizą porównawczą wyników otrzymanych z zastosowaniem tych metod. Pomimo, że jest to cenny materiał dla inżynierów, dobrze przeanalizowany i przedstawiony przez Autorkę jako uzupełnienie poprzednich rozdziałów, nie wnosi jednak niczego istotnego do zasadniczych elementów pracy związanych z reakcją dna morskiego w pobliżu takich konstrukcji.

Zasadnicza część pracy, poświęcona udowodnieniu postawionej na wstępie tezy została przedstawiona w rozdziałach 5 i 6. W rozdziale 5 Autorka opisała podstawowe równania modelu numerycznego, za pomocą którego przeprowadziła analizę zmian pola hydrodynamicznego ciśnienia wody w porach gruntu dna morskiego wywołanych wzajemnym oddziaływaniem falowania, konstrukcji falochronu oraz dna morskiego dla przypadku płaskiego stanu odkształcenia. Posłużyła się przy tym ogólnie znanym równaniem konsolidacji Biota oraz równaniami równowagi wiążącymi zmiany ciśnienia porowego ze sprężystymi odkształceniami szkieletu gruntowego uzupełnionymi o równanie zachowania masy ściśniętej cieczy w porach gruntu. Oceniając ten fragment pracy, gdzie Autorka podejmuje próbę sformułowania zagadnienia brzegowego w oparciu o podstawowe, ogólnie znane równania różniczkowe należy stwierdzić, że nie został on przedstawiony wystarczająco precyzyjnie. Nie ma w nim jasności, które to równania tworzą układ, którego rozwiązanie ma pozwolić na udowodnienie tezy pracy. Niezależnie, niektóre z cytowanych przez Autorkę standardowych równań teorii sprężystości zawierają błędy, o czym szerzej będzie mowa w części recenzji poświęconej uwagom krytycznym.

Stosując układ trzech równań różniczkowych cząstkowych opisujących rozkład ciśnienia płynu porowego oraz przemieszczeń szkieletu gruntowego Autorka sformułowała zagadnienie brzegowe będące przedmiotem analizy w postaci sztywnego pionowościennego falochronu o nieprzepuszczalnych ścianach, spoczywającego na skończonej warstwie poro-sprężystego ośrodka wodno-gruntowego ograniczonej od dołu nieprzepuszczalną warstwą gruntu o dużej sztywności. Dla tak przyjętego schematu zostały dobrane odpowiednie warunki brzegowe, standardowe w tego rodzaju podejściu.

Do rozwiązania układu trzech równań różniczkowych Autorka wykorzystała metodę elementów skończonych dyskretyzując obszar zadania czterowęzłowymi czworobocznymi elementami izoparametrycznymi. Podstawowe zasady metody zostały dobrze opisane w rozdziale 5.2 pracy, co świadczy o tym, że Autorka w pełni orientuje się w przyjętej metodzie rozwiązania zagadnienia. Potwierdzeniem tego faktu jest implementacja tej metody we własnym autorskim kodzie numerycznym napisanym w języku FORTRAN, co w obecnych czasach jest raczej rzadkością.

Poprawność kodu numerycznego została następnie zweryfikowana przez Autorkę poprzez porównanie własnego rozwiązania z rozwiązaniami dostępnymi w literaturze, zarówno analitycznymi, jak i numerycznymi, otrzymanymi dla obu analizowanych przez nią przypadków tj. dna morskiego bez obecności konstrukcji morskiej oraz z jej obecnością. Przedstawione wyniki analizy porównawczej świadczą o bardzo dobrej zgodności wyników otrzymanych za pomocą modelu numerycznego przygotowanego przez Autorkę z tymi, uzyskanymi przez innych badaczy.

Kolejno, zweryfikowany model numeryczny został zastosowany do wszechstronnej analizy parametrycznej wpływu parametrów falowych opisanych nieliniową falą Stokesa i wodno-gruntowych na rozkład chwilowego ciśnienia płynu porowego w dnie morskim przyjmując w pierwszym przypadku różne długości i wysokości fali oraz głębokości wody, a w drugim różne współczynniki filtracji odpowiadające piaskom drobnym i grubym oraz różne stopnie nasycenia gruntu budującego dno morskie, szczegółowo analizując wpływ poszczególnych parametrów na jakościowy i ilościowy rozkład ciśnienia porowego. We wszystkich analizowanych scenariuszach przyjęto najbardziej niekorzystny układ obciążeń od fali stojącej zakładając wystąpienie grzbietu fali na pionowej ścianie falochronu.

Jak konkluduje Autorka, na rozkład hydrodynamicznego ciśnienia porowego ma głównie wpływ długość fali i głębokość wody oraz stopień nasycenia i współczynnik filtracji gruntu tworzącego dno morskie.

Dodatkowo dokonano przy tym porównania wpływu liniowej, sinusoidalnej fali stojącej z wpływem fali nieliniowej stojącej Stokesa 2-go rzędu na reakcję podłoża gruntowego wskazując istotne różnice w wartości chwilowego hydrodynamicznego ciśnienia porowego generowanego pod wpływem tych rodzajów fal. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że fale Stokesa generują istotnie wyższe ciśnienia płynu porowego i jak pisze Autorka zwiększają prawdopodobieństwo chwilowego upłynnienia dna morskiego. Stąd Autorka formułuje główny wniosek rozprawy będący dowodem postawionej tezy, że konstrukcje morskie poddane działaniu falowania odpowiadającego falom Stokesa nie powinny być liczone bazując na teorii fal sinusoidalnych.

Kolejno, wykorzystując stworzony model numeryczny, autorka przeanalizowała wpływ anizotropii gruntu dna morskiego reprezentowanej przez model poprzecznie anizotropowy różnicując właściwości sprężyste gruntu w dwóch kierunkach wskazując na to, że w niektórych przypadkach przyjęcie do obliczeń gruntowego ośrodka anizotropowego może prowadzić do przeszacowania (piaski grube), natomiast w innych do niedoszacowania (piaski drobne) reakcji dna morskiego na falowanie.

Istotnym elementem pracy jest analiza wpływu warstwy podsypki pod falochronem na odpowiedź dna morskiego poddanego falowaniu opisanemu falą Stokesa. Z uwagi na nachylenie takiej warstwy do tego celu niezbędne było rozbudowanie programu autorskiego o dodatkowy moduł generujący elementy czworokątne o zmiennej szerokości. Otrzymane wyniki symulacji numerycznych dla przypadku obecności falochronu bez podsypki i z podsypką wskazują, że jakościowy rozkład chwilowego ciśnienia płynu porowego jest bardzo zbliżony natomiast występują różnice ilościowe z zależności od stopnia nasycenia porów płynem wskazując na dobry wpływ podsypki w przypadku gruntu nie w pełni nasyconego.

Oceniając ten rozdział, który stanowi główną część rozprawy należy podkreślić wszechstronną analizę parametryczną jaką przeprowadziła Autorka w celu udowodnienia tezy prac i dużą staranność w prezentacji otrzymanych wyników, które w sposób czytelny pokazują wpływ poszczególnych parametrów falowania, wodno-gruntowych i samej konstrukcji falochronu na odpowiedź hydrodynamiczną dna morskiego na falowanie opisane falą Stokesa 2-go rzędu.

Zasadnicze treści pracy odnoszące się zarówno do jej tytułu jak też postawionej tezy zawiera rozdział 6. Autorka omówiła w nim zjawisko chwilowego upłynnienia gruntu budującego dno morskie w wyniku oddziaływania falowania oraz przedstawiła powszechnie przyjmowane kryteria upłynnienia chwilowego adoptując do dalszych analiz najbardziej rozwiniętą, a zarazem najnowszą propozycję Zena i Yamazaki.

W tym przypadku przeprowadzone symulacje numeryczne i analizy parametryczne dotyczyły sytuacji, gdzie fala Stokesa 2-go rzędu obciąża pionową ścianę falochronu w fazie doliny. Wyniki obliczeń numerycznych wyraźnie wskazują na tworzenie się stref chwilowego upłynnienia w dnie morskim w bezpośrednim sąsiedztwie falochronu w wyniku wystąpienia doliny fali na pionowej jego ścianie. Zasięg tych stref rośnie wraz z długością fali a maleje wraz z głębokością wody, co wydaje się fizycznie uzasadnione. Podobna sytuacja dotyczy wpływu analizowanych parametrów wodno-gruntowych w postaci stopnia nasycenia oraz współczynnika filtracji. Otrzymane przez Autorkę zależności potwierdzają podawane w literaturze dla przypadku fali stojącej.

W wyniku obliczeń wykazano pozytywny wpływ podsypki pod falochronem ograniczający lub całkowicie eliminujący możliwość wystąpienia upłynnienia w dnie morskim, jak też przesuwający ją dalej w stronę odmorską pozytywnie wpływając na stateczność konstrukcji. Ostatni wniosek ma kluczowe znaczenie praktyczne.

Podsumowując należy stwierdzić, że przyjęte w pracy cele główne to jest ocena wpływu fali stojącej Stokesa 2-go rzędu na reakcję hydrodynamiczną dna morskiego oraz możliwość wystąpienia zjawiska chwilowego upłynnienia się gruntu w pobliżu pionowego falochronu zostały przez Autorkę zrealizowane, a wynikające z nich teza pracy, udowodniona.

Jeśli chodzi o oryginalny wkład pracy Doktorantki, to jest on głównie związany z opracowaniem modelu obliczeniowego bazującego na znanych równaniach mechaniki dla ośrodka poro-sprężystego, a głównie jego implementacją do autorskiego kodu numerycznego napisanego w języku FORTRAN, co jak już pisałem jest ostatnio raczej rzadkim przypadkiem, szczególnie w zakresie prac doktorskich, gdzie wykorzystuje się głównie dostępne programy komercyjne, a w najlepszym przypadku otwarte kody numeryczne lub oprogramowanie umożliwiające definiowanie swoich własnych modeli wykorzystując dołączone już, gotowe pre i postprocesory z wbudowanymi automatycznymi generatorami siatek w przypadku wykorzystywania metod dyskretnych. Z informacji podanych przez Autorkę, elementy przygotowania danych, jak też obróbki i wizualizacji wyników zostały również opracowane przez nią samą. Budowa własnego programu numerycznego jest już skomplikowanym i czasochłonnym zadaniem, samym w sobie, niemniej jednak najistotniejszą wartością dodaną jest tutaj fakt konieczności pełnej świadomości, co zamierza się zrobić i wiedzy odnośnie do wykorzystywanych związków matematycznych oraz ich odpowiedniej implementacji do kodu numerycznego, co wymaga dokładnego rozumienia do czego one służą. Niestety, w przypadku korzystania z gotowych programów mających te elementy automatycznie wbudowane, nie zawsze taka pełna wiedza u wykorzystujących te programy, ma miejsce.

Drugim elementem oryginalnym wg mnie jest sam postawiony cel i teza pracy, a więc zbadanie znaczenia nieliniowych fal stojących Stokesa 2-go rzędu dla odpowiedzi hydrodynamicznej dna morskiego oraz jej wpływu na stateczność wielkogabarytowego falochronu w porównaniu z ogólnie przyjmowanym podejściem ograniczającym się do sinusoidalnych fal liniowych.

3. Uwagi krytyczne

Jak już wcześniej pisałem praca jest wybitnie numeryczna, choć z bardzo wszechstronnym i kompleksowym programem symulacji numerycznych dla różnych scenariuszy falowania i warunków gruntowych oraz taką samą analizą otrzymanych wyników. Tak więc pod względem metodologicznym i sposobem jej implementacji, nie budzi zastrzeżeń, aczkolwiek praca byłaby pełniejsza, gdyby Autorka wykonała własne badania laboratoryjne, jeśli nie modelowe, to choć wyznaczające parametry gruntowe przyjmowane w ramach prowadzonych analiz numerycznych.

W tekście pracy Autorka nie ustrzegła się mniejszych lub większych błędów opisowych, ale nie stanowią one większego ładunku krytycznego. Z tego ostatniego wymieniałbym cztery główne, trzy z nich związane ze stroną redakcyjną pracy, a jeden merytoryczny, który może rzutować zarówno na otrzymane wyniki, jak i wyciągnięte na ich podstawie wnioski końcowe.

Pierwsza redakcyjna uwaga krytyczna dotyczy wstępu pracy, gdzie Autorka formułuje tezę bez podania celu pracy. Nie jest to może mocno krytyczna uwaga, ale nieco zaciemnia obraz tego, jakie zadania sobie Autorka naprawdę postawiła, by przyjąć tezę udowodnić.

Druga redakcyjna uwaga krytyczna dotyczy początku 5 rozdziału pracy, gdzie Autorka formułuje model matematyczny zakładając podstawowe równania rządzące analizowanym przez nią zjawiskiem wzrostu chwilowego ciśnienia hydrodynamicznego w dnie morskim w wyniku działania fali stojącej. Tak, jak już wyżej pisałem, zostało to zrobione dość niejasno i dlatego prosiłbym, aby Autorka dokładnie zdefiniowała, które równania tworzą układ będący przedmiotem rozwiązania metodą elementów skończonych.

Niezależnie, w tym samym miejscu, Autorka przytacza sprężyste związki konstytutywne pomiędzy naprężeniami a odkształceniami dla, jak pisze, płaskiego stanu naprężeń, a moim zdaniem dotyczą one płaskiego stanu odkształcenia, który Autorka przyjmuje, słusznie zresztą, do analizy zagadnień brzegowych. Ponadto, równania te zawierają błędy. Jeżeli takie równania zostały zaimplementowane do metody elementów skończonych, to mogły wygenerować wyniki. Bardzo proszę o komentarz w tej sprawie. Jeżeli

Ostatnią uwagą redakcyjną jest powtarzająca się wielokrotnie sytuacja cytowania prac (naliczyłem ich kilkadziesiąt!), których nie ma w podanym przez Autorkę spisie literatury lub jeśli są, to z innymi rocznikami wydania. Gdyby nie tak duża ich liczba, nie wymieniałbym tego, jako uwagi krytycznej.

Poniżej zawarłem dodatkowo kilka kontrowersyjnych stwierdzeń, co do których prosiłbym o ustosunkowanie się lub dokładniejsze wyjaśnienie.

- na stronie 36 Autorka pisze o badaniach gruntu w naturze np. z użyciem piezometru. Proszę rozwinąć tę myśl,
- przy opisie analizy porównawczej rozkładu względnego ciśnienia wody w porach wraz z głębokością otrzymanego własnym programem z istniejącymi rozwiązaniami analitycznymi (rozdział 5.4) Autorka podaje rozkłady tych ciśnień wyrażone przez p/p_0 , gdzie p – cykliczne ciśnienie w porach gruntu, a p_0 ciśnienie hydrodynamiczne wywołane falowaniem), natomiast na rysunkach (5.6-5.10) są duże litery P/P_0 , a pod rysunkiem 5.9 Autorka pisze, że to są amplitudy. Proszę o wyjaśnienie.
- w podrozdziale 5.4.4. na stronie 92 podano, że porowatość podsypki jest zero. Czy to oznacza, że podsypkę stanowi monolityczny blok?

- jak doktorantka wyjaśni powstanie podciśnienia (ciśnienia mniejszego niż hydrostatyczne) w niektórych przypadkach np. Rys. 5.31 głębokość $z/d = -0.2 - 0.1$ dla $S < 1$?
- co Autorka ma na myśli pod pojęciem gruntów „lekko nadmiernie skonsolidowanych gruntów polodowcowych”? Czy są to grunty lekko prekonsolidowane ze współczynnikiem prekonsolidacji nieco powyżej 1?
- str. 115 wzór 5.58. Parametr M nie może być bezwymiarowy, gdyż zgodnie z podaną poniżej definicją nosi miano modułu ścinania. Proszę o ustosunkowanie się.
- bardzo często Autorka używa pojęcia płaskiego stanu odniesienia. Czy chodzi jednak o płaski stan odkształcenia?
- na str. 153 Autorka pisze, że grunty dna morskiego, które mogą podlegać zjawisku upłynnienia w wyniku oddziaływania falowania to namuły lub piaski drobne bądź piaski gliniaste. Jest to dość kontrowersyjne stwierdzenie, szczególnie w przypadku namułów. Namuły są gruntami organicznymi o stosunkowo niewielkim współczynniku filtracji oraz dużej zawartości frakcji drobnej i w związku z tym upłynnieniu praktycznie nie podlegają - proszę o komentarz.
- w tym samym akapicie autorka pisze, że wpływ na upłynnienie ma przepuszczalności oraz stopień przepuszczalności – jak doktorantka rozróżnia te dwa pojęcia?
- kolejno omawiając upłynnienie cykliczne Autorka pisze, że nawet bardzo mała zawartość gazów ($< 1\%$) jest wystarczająca do redukcji dyssypacji ciśnienia porowego. Chciałbym, aby autorka rozwinęła tę myśl.
- rozdział 6.2.1. Czy rzeczywiście Autorka do obliczeń przyjęła dla szkieletu gruntowego wartość modułu ścinania $G = 10^7$ kPa? To jest bardzo sztywny materiał odpowiadający klasie sztywności betonu!
- proszę o skomentowanie pojawienia się niewielkiej strefy upłynnienia pod podstawą falochronu, Rys. 6.5, 6.7.

4. Uwagi natury redakcyjnej, drobne uchybienia

Praca jest napisana bardzo poprawnym pod względem stylistycznym językiem, komunikatywnym, dobrze przekazującym uporządkowane myśli Autorki, który sprawnie porusza się w realizowanej tematyce bez nadmiernej ilości błędów, w zasadniczej mierze redakcyjnych. Poniżej wylistowałem drobne uchybienia językowe. Więcej uwag szczegółowych, w formie komentarzy merytorycznych, zamieściłem w tekście pracy.

- Str. 12 – jest „zawarte w literaturze kryteria gruntu dna morskiego”, a powinno chyba być „zawarte w literaturze kryteria upłynnienia gruntu dna morskiego”,
- Str. 29 – jest „zmian wskaźnika wilgotności”, a powinno chyba być „stopnia nasycenia”, gdyż takiego pojęcia nie ma,
- Str. 30 – jest „w płaskim stanie odniesienia”, powinno być „w płaskim stanie odkształcenia”.
- Str. 33 – jest „w powierzchniowej dna morskiego”, powinno być „w powierzchniowej warstwie dna morskiego”.
- Str. 34 – koniec akapitu trzeciego od dołu – czegoś tam brakuje.
- Str. 34 – jest „w płaskim stanie odniesienia”, powinno być „w płaskim stanie odkształcenia”.

- Str. 36 – metody badań gruntów w naturze, np. z użyciem piezometru. Nie znam takich badań.
- Str. 39 – jest „dyssypacja ciśnienia w porach gruntu”, powinno być „dyssypacja ciśnienia w porach gruntu”.
- Str. 43 – jest „analiza generacji problemu ciśnienia porowego w dnie morskim”, powinno być „analiza problemu generacji ciśnienia porowego w dnie morskim”.
- Str. 44 – trzeci akapit od góry - powtórzony fragment tekstu ze strony poprzedniej.
- Str. 44 – jest „w płaskim układzie odniesienia”, czy nie powinno być „w płaskim układzie odkształcenia”?
- Str. 46 – to samo, co wyżej.
- Str. 51 - to samo, co wyżej.
- Str. 56 – początek rozdziału 4.2.1 powtórzony wyraz „zamieniona”.
- Str. 64 – podrozdział Dane obliczeniowe - jest „przeprowadzono dla wiele obliczeń porównawczych”, powinno być przeprowadzono wiele obliczeń porównawczych.
- Str. 94 – jest „zbudowanym z piasków drobnych $k = 10^{-2}$ m/s”, powinno być „zbudowanym z piasków drobnych $k = 10^{-4}$ m/s”.
- Str. 136 – jest „względnej amplitudy cyklicznie zmiennej amplitudy ciśnienia wody w porach”, powinno być „względnej cyklicznie zmiennej amplitudy ciśnienia wody w porach”.
- Str. 152 – początek podsumowania – jest „w płaskim stanie odniesienia”, powinno być „w płaskim stanie odkształcenia”.
- Str. 152 – drugi akapit – jest „Biorąc pod uwagę warunki wodno-falowe w generacji ciśnień porach gruntu”, powinno być „Biorąc pod uwagę warunki wodno-falowe w generacji ciśnień w porach gruntu”.
- Str. 154 – Początek rozdziału 6.1 - jest „Chwilowe upłynnienie zachodzi gruncie”, powinno być „Chwilowe upłynnienie zachodzi w gruncie”.
- Str. 157 – podrozdział Wpływ głębokości wody – jest „ $d/L \geq 0,5$ ”, powinno być „ $h/L \geq 0,5$ ”.
- Str. 174 – jest „wokół konstrukcji hydrotechnicznej stawianej dnie morskim”, powinno być „wokół konstrukcji hydrotechnicznej stawianej na dnie morskim”.

Mimo, że należy podkreślić bogactwo i różnorodność cytowanych prac w pozycji literatury dotyczących analizowanego zagadnienia, to bardzo dużo z przytoczonych w tekście, w załączonym spisie się nie znalazło.

5. Wniosek końcowy

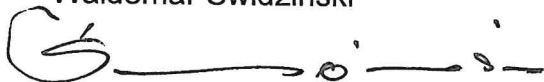
Mgr inż. Aleksandra Wawrzyńska przedstawiła jako rozprawę doktorską pracę zawierającą oryginalne wyniki i poszerzającą wiedzę związaną z odpowiedzią dynamiczną dna morskiego w pobliżu pionowości grawitacyjnej konstrukcji morskiej poddaną falowaniu. Lektura pracy wskazuje na bardzo dobre predyspozycje Autorki w zakresie wykonywania samodzielnych prac naukowych o charakterze przede wszystkim teoretycznym oraz swobodną implementacją numeryczną. Wyniki przedstawione w rozprawie są interesujące zarówno z naukowego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia.

Wobec powyższego stwierdzam, że **recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Wawrzyńskiej spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w myśl**

Ustawy 595 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami).

Rozprawa stanowi oryginalną propozycję rozwiązania i rozwinięcia problemu naukowego oraz wykazuje dostateczny poziom wiedzy kandydatki w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Tym samym wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Waldemar Świdziński

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Świdziński', with a stylized initial 'S' on the left.