

Prof. dr hab. inż. Wojciech Gilewski
Instytut Inżynierii Budowlanej
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

e-mail: wojciech.gilewski@pw.edu.pl

Warszawa, 18 września 2023

Opinia

o pracy doktorskiej **mgr inż. Mykoli Nagirniak**
pt. „**MODYFIKACJA MODELU PODŁOŻA VLASOVA**”

Promotorzy:

prof. dr hab. inż. Grzegorz Jemielita

dr hab. inż. Mirosław Lipiński

Podstawa opracowania

Podstawą do wykonania recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Inżynierii Lądowej, prof. dra hab. inż. Eugeniusza Kody z dnia 14 lipca 2023 r. i Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego z dnia 12 lipca 2023 r.

Ogólna charakterystyka dysertacji

Recenzowana rozprawa dotyczy ciekawego i trudnego zagadnienia modelowania matematycznego podłoża gruntowego na bazie liniowej teorii sprężystości. Praca ma charakter teoretyczny i zawiera obszerny materiał który pochodzi z badań własnych Autora. Rozprawa składa się z 9 rozdziałów (192 strony), spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz zestawienia 114 pozycji literatury. Rozprawa napisana jest w języku polskim. Praca zawiera dwa załączniki (22 strony), które zawierają zaczerpnięte z literatury przedmiotu opisy modeli matematycznych podłoża sprężystego i rozwiązań wybranych zagadnień teorii sprężystości.

Treść rozprawy

Rozdział 1 – Wstęp – 1 stron

We wprowadzeniu określono przedmiot rozważań jako modelowanie podłoża gruntowego na bazie liniowej teorii sprężystości. Autor określił cel pracy i jej zakres. Przedstawiono układ i zawartość poszczególnych rozdziałów pracy. Postawiono zwięzłą hipotezę badawczą, która składa się z trzech części. Rozdział uzupełnia opis form zapisu (mylnie nazwany „Oznaczenia”).

Rozdział 2 – Statyka warstwy gruntu według teorii Vlasova – 5 stron

W rozdziale przedstawiono krótko, na podstawie literatury, opis przestrzennego i dwuwymiarowego modelu podłoża Vlasova. Przedmiotem rozważań jest warstwa sprężysta o skończonej miąższości, obciążona prostopale do płaszczyzny ograniczającej tę warstwę. Opisano hipotezy teorii, współczynniki, które w niej występują i podstawowe równania.

Rozdział 3 – Przestrzenne zagadnienia teorii sprężystości – 44 strony

W części pierwszej rozdziału przedstawiono równania przemieszczeniowe teorii i wskazano metody, za pomocą których można rozwiązać równania dla pewnych obszarów o geometrycznie prostych granicach. W dalszej części rozdziału Autor przedstawił wybrane ogólne rozwiązania znane w literaturze i podał wyniki szczegółowe otrzymane za pomocą programu *Mathematica*, wraz z obszerną prezentacją graficzną. W zakresie półprzestrzeni sprężystej przedstawiono: zagadnienie Boussinesq'a, półprzestrzeń i warstwę obciążoną równomiernie na powierzchni prostokąta. Zagadnienia obrotowo-symetryczne obejmują: jednorodną półprzestrzeń poddaną obciążeniu na obszarze koła, warstwę spoczywającą na podłożu nieodkształcalnym i na półprzestrzeni sprężystej, układ dwóch warstw spoczywających na podłożu nieodkształcalnym oraz półprzestrzeń i warstwę poprzecznie izotropową.

Rozdział 4 – Rozwiązania przybliżone wybranych przypadków obciążenia warstwy sprężystej – 28 stron

W rozdziale podano przybliżone wzory na maksymalne przemieszczenia pionowe warstwy sprężystej obciążonej na powierzchni w kształcie koła i prostokąta.

Rozdział 5 – Weryfikacja modelu podłoża Vlasova – 9 stron

W rozdziale porównano wartości przemieszczeń uzyskanych za pomocą modelu Vlasova z rozwiązaniami według teorii sprężystości. Rozważano obciążenie równomierne przyłożone na powierzchni koła i powierzchni prostokąta. Wyniki zilustrowano graficznie.

Rozdział 6 – Zmodyfikowany model podłoża – 13 stron

Na początku rozdziału przedstawiono możliwe kierunki modyfikacji modelu podłoża Vlasova. Następnie przedstawiono szczegółowo: podstawowe założenia, ogólny model Vlasova, zmodyfikowany model podłoża przy założeniu różnych funkcji zanikania, trzy wybrane uproszczenia przedstawionego modelu oraz modele zmodyfikowane: dwuparametrowy i osiowosymetryczny.

Rozdział 7 – Weryfikacja zmodyfikowanego modelu podłoża – 28 stron

Rozdział zawiera porównanie wybranych przykładów rozwiązań otrzymanych na bazie modeli zmodyfikowanych przedstawionych w Rozdziale 6 ze ścisłym rozwiązaniem równań teorii sprężystości. Rozważano kolejno: jednorodną izotropową warstwę gruntową obciążoną na obszarze kołowym i prostokątnym, poprzecznie izotropową warstwę dwuparametrową oraz warstwę o sztywności zmiennej po głębokości.

Rozdział 8 – Dobór parametrów sztywności – 15 stron

W pierwszej części rozdziału omówiono wybrane charakterystyki podłoży gruntowych. Następnie zaproponowano dobór parametrów sztywności dla kilku rodzajów gruntu.

Rozdział 9 – Podsumowanie i wnioski – 7 stron

W rozdziale podsumowano przeprowadzone rozważania, wyciągnięto wnioski i przedstawiono najważniejsze, zdaniem Autora, elementy pracy.

Załącznik 1 – Modele matematyczne podłoża sprężystego – 8 stron

W załączniku podano na podstawie literatury wybrane matematyczne modele podłoża sprężystego.

Załącznik 2 – Rozwiązanie zagadnień teorii sprężystości – 23 strony

W rozdziale przedstawiono 7 wybranych rozwiązań zagadnień teorii sprężystości znanych w literaturze przedmiotu.

Prace cytowane w tekście – 8 stron

Literatura obejmuje spis 114 prac.

Ocena rozprawy i uwagi krytyczne

Ocena trafności wyboru tematyki

Wybór tematyki rozprawy został dokonany trafnie. Tematyka rozprawy i narzędzia zastosowane do zrealizowania jej celów są poprawne, a opracowanie jest na poziomie wiedzy współczesnej.

Zawartość i układ rozprawy

Praca jest kompletna, a jej układ jest logiczny i prawidłowy. Niemal każdy rozdział pracy rozpoczyna się od podrozdziału zatytułowanego „Cel rozdziału”. Jedynym wyjątkiem jest Rozdział 8. W podrozdziałach tych podano jednak nie tyle cel, co zakres rozważań zawartych w tekście.

Ocena pracy; uwagi krytyczne i dyskusyjne; pytania; uwagi szczegółowe

W Rozdziale 1 Autor dokonał syntetycznej analizy literatury na podstawie której określił lukę w badaniach naukowych, którą postanowił wypełnić. Luką tą jest brak odniesienia modeli sprężystego podłoża do rozwiązań ścisłych według liniowej teorii sprężystości. Na tej podstawie zdefiniowane zostały prawidłowo cele pracy oraz przedstawiona hipoteza badawcza. Pewnych niekonsekwencji dopatrywać się można w celu oznaczonym numerem 3. Jako cel wymieniony jest „dobór parametrów sprężystości”, a tytuł odpowiedniego rozdziału pracy mówi o „parametrach szttywności” – czy Autor utożsamia te pojęcia? W celu numer 3 mówi się o „średnich odkształceniach”, podczas gdy zasadnicza część pracy dotyczy teorii liniowej.

Podrozdział 1.4 „Oznaczenia” nie dotyczy oznaczeń lecz stosowanych w pracy form zapisu i skrótów.

Błędy językowe na które warto zwrócić uwagę, to:

- str. 10 – co należy rozumieć pod określeniem „w pełni dobrze”? Kiedy jest dobrze „w pełni”, a kiedy „nie w pełni”?

- str. 12 – w języku polskim nie nadużywamy określenia „dla”, które powszechnie występuje w języku angielskim jako „for”.

- str. 12 – co Autor rozumie pod terminem „przedstawienie”, użytym dwukrotnie ?
- w rozdziale jest kilka błędów literowych – np. powinno być „współrzędna”, a nie „spółrzędna” (str. 21).

Rozdział 2 stanowi bardzo zwarty opis rozważanej teorii Vlasowa.

We wzorze (2.1) nie wyjaśniono niektórych oznaczeń, a opisano oznaczenia nie używane.

Ostatni akapit podrozdziału 2.2 nie dotyczy zakresu pracy doktorskiej i jest zbędny.

Uwaga językowa:

Str. 24 – powinno być „między którymi działają wewnętrzne siły tarcia”, a nie „między którymi wynikają wewnętrzne siły tarcia”.

We Rozdziale 3 podano rozwiązania zagadnień teorii sprężystości, które stanowią punkt odniesienia do weryfikacji modeli podłoża Vlasova. Rozwiązania zaczerpnięte są z literatury, ale Autor wykorzystał znakomicie symboliczne narzędzia programu *Mathematica* do doprecyzowania wielu wyników i ich prezentacji graficznej. Tym samym rozdział stanowi oryginalny i ciekawy z poznawczego punktu widzenia materiał. Autor nie podkreślił własnego wkładu w formę i prezentację wyników, a mógł to śmiało zrobić.

Na str. 30 Autor twierdzi, że „wygodniej jest najpierw wyznaczyć całkę ogólną wzorów (3.7), a następnie podstawić granice całkowania”. Na czym ta „wygoda” polega ? Czy chodzi tylko o wygodę, czy o efektywne uzyskanie rozwiązania ?

Zdaniem recenzenta wyniki całkowania numerycznego, przedstawione na str. 43, 44 (w tym Tab. 1) stanowią niedokończoną myśl Autora rozprawy. Dlaczego obliczenia przeprowadzono dla zerowego współczynnika Poissona ? Czy Autor rekomenduje którąś z analizowanych składni komendy *NIntegrate* ? Skoro w literaturze rekomenduje się metodę całkowania *Simpsona*, to dlaczego Autor nie porównał wyników z otrzymywanymi tą metodą ?

Szkoda, że Autor nie podsumował rozważań zawartych w Rozdziale 3.

Uwaga językowa, która odnosi się także do innych rozdziałów pracy:

- stwierdzenia „obciążenie w kształcie koła” i „obciążenie w kształcie prostokąta” są niedopuszczalnymi skrótami myślowymi – nie ma oczywiście obciążeń w kształcie figur geometrycznych, a jedynie przykłada się je w obszarach ograniczonych tymi figurami, o czym Autor oczywiście wie, gdyż w pracy wielokrotnie używa prawidłowych sformułowań. Niestety częściej Autor używa określeń nieprawidłowych, także w tytułach podrozdziałów.

Rozdział 4 rozprawy zawiera szereg oryginalnych rozwiązań Autora, dotyczących wzorów na maksymalne przemieszczenia pionowe warstwy sprężystej obciążonej na powierzchni koła i prostokąta oraz dyskusję i modyfikacja funkcji zanikania przemieszczeń. Wzory na maksymalne przemieszczenia otrzymano jako modyfikacje odpowiednich rozwiązań półprzestrzeni sprężystej z zanikaniem przemieszczeń na dowolnej głębokości. W każdym przypadku zdefiniowano funkcję błędu. Przedstawiono liczne analizy parametryczne (46 rysunków dotyczących maksymalnych przemieszczeń, lub funkcji zanikania przemieszczeń) w

zależności od głębokości zanikania i współczynnika Poissona, co stanowi wyczerpujące uzasadnienie poprawności zaproponowanych modyfikacji.

Uwagi dyskusyjne:

- Jak Autor może uzasadnić taką, a nie inną postać modyfikacji we wzorze (4.4) ? Recenzent jest ciekaw w jaki sposób Autor doszedł to takiego rozwiązania.

- Pytanie analogiczne do poprzedniego dotyczy członu wzoru (4.6) zależnego od współczynnika Poissona.

- Co wynika z faktu, że w przypadku granicznym funkcja błędu (4.8) ma wartość -0.09 ?

Podobne pytania dotyczą wielu wzorów w Rozdziale 4 – Autor często pisze, że coś „przyjmuje”, lub, że coś można „przedstawić w postaci”, nie uzasadniając dlaczego postępuje akurat tak. Recenzent jest zdania, że takie uzasadnienie byłoby dużą wartością pracy, gdyż pokazałoby czytelnikowi sposób rozumowania Autora, który, jak wynika z przeprowadzonych analiz jest prawidłowy.

Rozdział 5 to weryfikacja modelu podłoża Vlasova. Porównano wartości przemieszczeń otrzymanych na podstawie tego modelu z rozwiązaniami teorii sprężystości. Wykazano dla jakich parametrów i w jakim zakresie występują znaczące różnice. Uzasadniono tym samym zasadność podjęcie próby modyfikacji modelu Vlasova. Autor wykazał się przy tym dużą biegłością w otrzymywaniu rozwiązań trudnych zagadnień matematycznych za pomocą programu *Mathematica*.

W Rozdziale 6 przedstawiono zawarte w tytule pracy modyfikacje modelu Vlasova. Uzasadnienie kierunku poszukiwań, zawarte w Rozdziale 5, dotyczy przemieszczeń pionowych i poziomych warstwy. Zdaniem recenzenta zastosowanie modelu poprzecznie izotropowego nie jest w pracy należycie umotywowane.

Przedstawione rozważania są bardzo ogólne i zapisane w taki sposób, aby wynikały z nich wprost wcześniej znane modele. Sformułowanie to stanowi oryginalny element rozprawy. Kluczowe są tu: rozdzielanie zmiennych (6.9) i układ równań (6.13), z którego, na drodze uproszczeń i założeń, można wyprowadzić bardzo wiele modeli sprężystego podłoża. Niektóre z nich przedstawiono w kolejnych podrozdziałach pracy.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- Brak uzasadnienia dlaczego przyjęto model sprężysty poprzecznie izotropowy.

- Brak uzasadnienia pominięcia sił masowych w równaniach równowagi – wzór (6.12).

- Na stronie 103 Autor wypowiada się na temat dokładności szeregu (6.9) i układu równań (6.13), nie odnosząc się do zbieżności tego szeregu i regularności układu równań.

Uwaga językowa:

- Zdaniem recenzenta należy unikać nadmiernego używanie cudzośćwa do intuicyjnego określania pewnych pojęć. W Rozdziale 6 znajdziemy np. wzięte w cudzośćwa określenia: „stałe materiałowe” w odniesieniu do własności mechanicznych, które stałe nie są; „kierunek” i „płaszczyzna” w odniesieniu do modułów Younga, modułów Kirchhoffa i współczynników Poissona - sformułowania na str. 99 są dalekie od precyzji.

Rozdział 7 rozprawy to weryfikacja poprawności zaproponowanych przez Autora zmodyfikowanych modeli podłoża Vlasova. Jako wzorzec, z którym porównywano wyniki, przyjęto ściśle rozwiązanie w ramach teorii sprężystości. Rozważano kolejno jednorodną i izotropową warstwę gruntową, warstwę poprzecznie izotropową według modelu dwuparametrowego i warstwę o sztywności zmiennej po głębokości. Rozważano obciążenie przyłożone w obszarze koła i prostokąta. Otrzymane rozwiązania i przedstawione graficznie analizy parametryczne (58 rysunków) są oryginalnymi osiągnięciami Autora. Aby je uzyskać należało się wykazać niezwykłą biegłością w twórczym wykorzystaniu oprogramowania *Mathematica* do rozwiązywania trudnych problemów matematycznych. Uzyskanie tych rozwiązań w sposób tradycyjny nie byłoby możliwe.

Rozdział 8, zatytułowany „Dobór parametrów sztywności” dotyczy wybranych praktycznych zagadnień mechaniki gruntów. Rozważania te nie mają charakteru autorskiego i nie są spójne z wcześniejszymi rozdziałami pracy. Znajdujemy tu informacje o wzorach empirycznych lub pół-empirycznych, nieliniowościach występujących w opisie gruntu, zagadnieniach falowych i innych złożonych aspektach opisu, które nie znajdują zastosowania w liniowej teorii sprężystości. Zdaniem recenzenta rozdział ten nie wnosi do pracy nic twórczego i mógłby być pominięty.

Rozdział 9 zawiera na wstępie obszernie podsumowanie, wraz z kilkoma spostrzeżeniami. Zawarto dziewięć, prawidłowo wyciągniętych wniosków oraz przedstawiono pięć, najważniejszych zdaniem Autora osiągnięć rozprawy. Należy stwierdzić, że Autor zrealizował w pełni określone na początku pracy cele i udowodnił postawione hipotezy. W rozprawie nie przedstawiono kierunków dalszych badań.

Załączniki 1 i 2 nie stanowią oryginalnego elementu pracy.

Spis literatury jest kompletny i starannie dobrany. Proszę w przyszłości zwrócić uwagę, czy słowa w tytułach cytowanych prac piszemy z dużej czy z małej litery. W spisie jest różnie. Na podkreślenie zasługuje fakt uwzględnienia w doborze literatury mało obecnie znanych i zwykle pomijanych, wartościowych pozycji napisanych w języku rosyjskim.

Język i redakcja pracy

Praca zawiera pewne drobne nieścisłości i błędy językowe, co nie wpływa na wartość merytoryczną rozprawy. Uwagi szczegółowe zawarto w poprzednim punkcie recenzji. Należy jednak zwrócić uwagę, że niektóre błędy pojawiają się w pracy wielokrotnie i należy je wyeliminować planując publikowanie wyników pracy.

Wniosek końcowy

Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej przeprowadził badania na wysokim poziomie naukowym. Wymagały one szerokiej wiedzy z zakresu mechaniki i matematyki, a także umiejętności posługiwania się oprogramowaniem matematycznym. Przedstawione uwagi mają w większym stopniu charakter dyskusyjny niż krytyczny i nie mają wpływu na bardzo pozytywną ocenę pracy. Autor sformułował i rozwiązał w sposób oryginalny postawiony problem badawczy oraz zrealizował cele pracy.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik ustaw z 2023 r. poz. 742) i dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgra inż. Mykoli Nagirniak do publicznej obrony oraz o ubieganie się Doktoranta o uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Wnioskuje o wyróżnienie recenzowanej rozprawy. Zawiera ona opracowanie badawcze nietypowe wśród współczesnych prac doktorskich. Autor w godny wyróżnienia sposób połączył rozwiązania klasycznej teorii sprężystości z możliwościami nowoczesnych narzędzi programowania symbolicznego. Wykazał się przy tym dużą pomysłowością, zarówno na etapie formułowania problemu, jak i rozwiązywania złożonych zagadnień matematycznych. Pozwoliło mu to na uzyskanie wielu oryginalnych i wartościowych rozwiązań w zakresie:

- wzorów na maksymalne przemieszczenia pionowe wybranych zagadnień warstwy sprężystej obciążonej w obszarze o kształcie koła i prostokąta,
- modyfikacji funkcji zanikania przemieszczeń,
- modyfikacji modelu podłoża Vlasova.

Uzyskanie tych rozwiązań bez znakomitej umiejętności wykorzystania programu *Mathematica* nie byłoby możliwe.

W. Głenński