

Prof. dr hab. inż. Marek Cała  
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami  
Akademia Górniczo-Hutnicza

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Mykoli Nagirniaka pt.:

### **„Modyfikacja modelu podłoża Vlasova”**

Rozprawa została wykonana w Instytucie Inżynierii Lądowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Grzegorza Jemielity oraz dr. hab. inż. Mirosława Lipińskiego

#### 1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Mykoli Nagirniaka p.t.: „Modyfikacja modelu podłoża Vlasova” opracowałem na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Pana prof. dr hab. inż. Eugeniusza Kody z dnia 14.07.2023 o znakach IIL 31/2023.

Potwierdzam, że przedmiotowa rozprawa doktorska pod względem przedstawionej w niej problematyki naukowo-badawczej, mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i w obszarze dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Postępowanie w sprawie nadania stopnia naukowego doktora mgr inż. Mykola Nagirniak jest prowadzone w oparciu o uregulowanie prawne zawarte w art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668). W przypadku przedmiotowej rozprawy doktorskiej powinna ona spełniać, według powyższej ustawy, następujące warunki:

- *prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria lądowa geodezja i transport oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata,*
- *przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych kandydata w sferze gospodarczej lub społecznej.*

Opracowana przeze mnie recenzja zawiera analizę przedłożonej rozprawy pod kątem oryginalności problemu naukowego stanowiącego przedmiot rozprawy oraz ocenę udziału magistra inżyniera Mykoli Nagirniaka w jego rozwiązaniu, a także ustalenie tych elementów rozprawy które potwierdzają Jego wiedzę teoretyczną i inne istotne umiejętności wymagane przez powyższą ustawę.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Prace doktorską pt.: „*Modyfikacja modelu podłoża Vlasova*” zaliczyć można do dość rzadko obecnie spotykanych rozpraw doktorskich. Poświęcona jest modelowaniu podłoża sprężystego, rozwiązaniom ścisłym teorii sprężystości oraz przedstawieniu przybliżonych rozwiązań według modelu Vlasowa i zmodyfikowanemu modelowi podłoża. Podjęcie takich zagadnień wymaga biegłego posługiwania się zaawansowanym aparatem matematycznym, co nie jest częstym atrybutem obecnych inżynierów.

Rozprawa składa się z 9 rozdziałów, 2 załączników oraz spisu literatury. Literatura obejmuje zestaw 114 pozycji w 5 językach (polskim, angielskim ukraińskim, rosyjskim i niemieckim).

We wstępnym rozdziale 1 przedstawiono podstawowe wiadomości o modelowaniu podłoży gruntowych, typy modeli mechanicznych podłoża, a także metody i problemy w modelowaniu matematycznym. Uzasadniono wybór tematu pracy obejmujący zastosowanie ścisłych i przybliżonych metod analitycznych rozwiązywania układu równań przemieszczeniowych teorii sprężystości, nieliniowych właściwościach parametrów charakteryzujących sztywność gruntu, cel oraz zakres pracy. W rozdziale 1 zamieszczono także podrozdział 1.4, który raczej powinien być ulokowany na początku pracy, jako spis przyjętych oznaczeń i konwencji.

W rozdziale 2 krótko przedstawiono przestrzenny oraz płaski model podłoża Vlasova. Omówiono główne założenia kinematyczne modelu Vlasova oraz metodę ortogonalizacji Galerki na równań przemieszczeniowych teorii sprężystości.

Rozwiązanie ścisłe równań przemieszczeniowych teorii sprężystości wybranych przypadków obciążenia półprzestrzeni, warstwy, warstwy na półprzestrzeni oraz układu dwu warstw sprężystych, takich jak: obciążenia w kształcie koła i prostokąta opisano w rozdziale 3. Opisano tam także rozwiązanie zagadnienia Boussinesq'a, a także przedstawiono wykresy przemieszczeń półprzestrzeni, warstwy, warstwy na półprzestrzeni oraz układu dwóch warstw obciążanych na powierzchni. Wykazano, że w przypadku półprzestrzeni obciążonej w kształcie prostokąta o wymiarach  $2a \times 2b$  istnieje zależność pomiędzy maksymalnym przemieszczeniem, a przemieszczeniami na środku boku oraz w narożu tego prostokąta.

Przybliżone wzory na wyznaczenie maksymalnych przemieszczeń pionowych warstwy o dowolnej miąższości, obciążonej na powierzchni w kształcie koła lub prostokąta pokazano w rozdziale 4. Wzory te uzyskano korzystając z rozwiązań ścisłych dla półprzestrzeni i warstwy sprężystej. Pokazano także propozycję przyjęcia funkcji zanikania przemieszczeń wraz z głębokością. Zaproponowano zmodyfikowane funkcje zanikania przemieszczeń typu Vlasova, a także funkcje zanikania, bazujące na rozwiązaniu ścisłym teorii sprężystości dla półprzestrzeni sprężystej.

W rozdziale 5 przedstawiono weryfikację modelu podłoża Vlasova, polegającą na porównaniu rozwiązań ścisłych teorii sprężystości z rozwiązaniami uzyskanymi według modelu Vlasova dla wybranych przypadków obciążenia warstwy sprężystej, takich jak: obciążenie w kształcie koła oraz prostokąta.

W rozdziale 6 pokazano zmodyfikowany model podłoża, uwzględniający poprzeczną izotropię i niejednorodność w funkcji głębokości rozpatrywanego ośrodka. Zaproponowano opis niejednorodnego, poprzecznie izotropowego ośrodka poprzez wielkości stałe i funkcje zmienne wzdłuż głębokości warstwy, a także przedstawiono modele zmodyfikowanego podłoża

gruntowego otrzymywane poprzez wprowadzenie różnych założeń kinematycznych lub fizycznych. Modele te zostały wyprowadzone w kartezjańskim oraz w walcowym układzie współrzędnych. Opisano zmodyfikowany dwuparametrowy model podłoża Vlasova, uwzględniający poprzeczną izotropię ośrodka oraz zmienność wzdłuż głębokości warstwy charakterystyk materiałowych.

Weryfikację zmodyfikowanego modelu podłoża na podstawie teorii sprężystości dla poprzecznie izotropowej warstwy, obciążonej na powierzchni w kształcie prostokąta oraz koła, a także porównanie zmodyfikowanego modelu podłoża z modelem Vlasova, przedstawiono w rozdziale 7. Rozpatrzono tam zagadnienie obciążenia warstwy sprężystej, w której charakterystyki materiałowe są stałe wzdłuż głębokości oraz zmienne w sposób liniowy, a także skokowy. Porównano przypadek obciążenia w kształcie koła, działającego na warstwę sprężystą i układ dwu warstw o sztywności zmiennej wzdłuż głębokości.

W rozdziale 8 zajęto się doбором parametrów sprężystości w celu wyznaczenia wartości przemieszczeń uwzględniając nieliniowość rozkładu modułu odkształcenia w zakresie małych i średnich odkształceń. Przedstawiono czynniki określające zależność naprężenie-odkształcenie w gruncie, sztywność początkową wyznaczaną na podstawie pomiaru prędkości fali poprzecznej lub za pomocą kolumny rezonansowej, nieliniowy rozkład sztywności gruntu, możliwości aparaturowe określania sztywności ze względu na zakres odkształcenia, charakterystyki progowych stref odkształcenia, a także uwarunkowania rozkładu sztywności w zakresie małych i średnich odkształceń. Zaproponowano także dobór reprezentatywnej wartości sztywności gruntu dla rozpatrywanego zakresu odkształceń.

W ostatnim rozdziale 9 przedstawiono podsumowanie oraz ogólne wnioski dotyczące rozwiązań ścisłych teorii sprężystości dla wybranych przypadków obciążenia warstwy sprężystej, weryfikacji i modyfikacji modelu podłoża podłoża Vlasova.

### 3. Merytoryczna ocena pracy

#### 3.1 Ocena celu i tezy pracy

Cele pracy są sformułowane dość jasno i sprowadzają się do weryfikacji i modyfikacji modelu Vlasova oraz doboru parametrów sprężystości w zakresie małych i średnich odkształceń.

Zakres pracy został scharakteryzowany w rozdziale 2 niniejszej recenzji.

W pracy nie ma tezy jako takiej, ale w podrozdziale 1.3 została sformułowana hipoteza badawcza, którą z pewnym przybliżeniem można potraktować jako tezę. I chociaż Autor nigdzie tego wprost nie napisał, to taka teza (hipoteza) została udowodniona w sposób nie podlegający dyskusji.

#### 3.2 Oryginalność naukowa rozprawy doktorskiej

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Mykoli Nagirniaka jest oryginalnym i wartościowym pod względem naukowym opracowaniem szeregu zagadnień, które mogą mieć praktyczne zastosowania.

Do oryginalnych osiągnięć zawartych w pracy zaliczyć należy:

- wyprowadzenie zależności pomiędzy maksymalnym przemieszczeniem w środku a przemieszczeniami na boku lub w narożu prostokąta, dla przypadku półprzestrzeni obciążonej na prostokącie,
- przedstawienie rozwiązania dla przemieszczeń dla trzech dowolnych kombinacji współczynników, korzystając z reprezentacji wektora przemieszczeń w postaci Helmholtza, dla ciała poprzecznie izotropowego w układzie współrzędnych walcowych, prowadzące do tego samego równania na funkcję naprężeń,
- opracowanie, bazujących na ścisłych rozwiązaniach teorii sprężystości, wzorów przybliżonych na wyznaczenie maksymalnych przemieszczeń dla warstwy o dowolnej miąższości, obciążonej na powierzchni w kształcie koła oraz kwadratu,
- zaprezentowanie modyfikacji funkcji zanikania przemieszczeń, polegającej na uniknięciu stosowania parametru  $\gamma$ , a także autorskie zmodyfikowane funkcje zanikania, bazujące na ścisłych rozwiązaniach teorii sprężystości.
- opracowanie modelu niejednorodnego i poprzecznie izotropowego podłoża, którego efektem jest zmodyfikowany, dwuparametrowy, niejednorodny, poprzecznie izotropowy model podłoża Vlasova.

Uważam że przedstawione powyżej zagadnienia w pełni potwierdzają naukową oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej i wskazują na istotny udział doktoranta Mykoli Nagirniaka w jej powstaniu. Oceniam zatem pozytywnie osiągnięcia Doktoranta w tym zakresie.

#### 4. Uwagi dyskusyjne

##### 4.1 Uwagi krytyczne

Poniżej sformułowano trzy uwagi dyskusyjne związane z tematyką pracy doktorskiej, na które oczekuję od Doktoranta odpowiedzi na publicznej obronie.

1. Według Doktoranta, w przypadku małej miąższości warstwy (porównywalnej z wymiarem przyłożonego obciążenia) wyniki uzyskiwane za pomocą Zmodyfikowanego Modelu Vlasova można uznać za akceptowalne. A co w przypadku gdy ten warunek nie jest spełniony? Jakie są granice „akceptowalności” rozwiązania?
2. Zarówno Model Vlasova jak i w Zmodyfikowany Model Vlasova posiadają pewne istotne ograniczenia. Jak w ich świetle Autor widzi możliwość dalszego wykorzystania/modyfikacji tych modeli?
3. Jak Autor widzi możliwość aplikacji rozwiązań przedstawionych w pracy w rozwiązywaniu praktycznych problemów, które stoją przed inżynierem budownictwa / geotechnikiem?

##### 4.2 Uwagi edytorskie

Praca jest napisana dość lakonicznym językiem, co zapewne po części wynika z jej mocno matematycznego charakteru.

W pracy zamieszczono dużo rysunków na których obok siebie porównywane te same wielkości, ale dla innych zestawów danych. Niestety Autor dość dowolnie operuje tutaj skalą pionową sąsiadujących rysunków, co utrudnia czytelnikowi ich porównanie i analizę. Przykładowo

rysunki 3.4 i 3.5 pokazują wartości składowej wektora przemieszczenia dla różnych przypadków. Skala pionowa na rys. 3.4 sięga wartości 5, a na rys. 3.5 wartości 2.5, co utrudnia porównanie tych wykresów. Mając obok siebie wykresy w takiej samej skali pionowej czytelnik od razu widzi różnice i podobieństwa obu wykresów, co znacząco wpływa na klarowność przekazu. Podobne uwagi dotyczą par wykresów 3.6 i 3.7; 3.50 i 3.51; 3.60 i 3.61; 3.82 i 3.83; 3.84 i 3.85; 3.86 i 3.87; 3.88 i 3.89; 3.90 i 3.91; 3.92 i 3.93; 3.107 i 3.108; 4.1 i 4.2; 4.19 i 4.20; 4.21 i 4.22; 4.23 i 4.24; 4.27 i 4.28; 4.29 i 4.30; 4.31 i 4.32; 4.37 i 4.38; 5.2 i 5.3; 5.4 i 5.5; 5.6 i 5.7; 5.8 i 5.9; 5.10 i 5.11; 5.12 i 5.13; 5.14 i 5.15; 5.16 i 5.17; 5.18 i 5.19; 7.1 i 7.2; 7.3 i 7.4; 7.5 i 7.6; 7.7 i 7.8; 7.9 i 7.10; 7.11 i 7.12; 7.13 i 7.14; 7.15 i 7.16; 7.17 i 7.18; 7.19 i 7.20; 7.21 i 7.22; 7.23 i 7.24; 7.31 i 7.32; 7.33 i 7.34; 7.35 i 7.36; 7.37 i 7.38; 7.39 i 7.40; 7.41 i 7.42; 7.43 i 7.44; 7.45 i 7.46; 7.47 i 7.48; 7.49 i 7.50.

W tekście rozprawy nie ma powołania na rysunki 2.3; 3.25; Z2.3; Z2.4; Z2.5.

Rysunki 3.36 i 3.37 różnią się tylko graficznie, a powinny także opisem.

Rozdział 3.2.3 na stronach 44-46 powinien zostać przebudowany:

- ostatni akapit na str. 44 może być śmiało usunięty – treści w nim zawarte są lepiej skomentowane na str. 45,
- dla płynności opisu akapity 2 i 3 na stronie 45 powinny być zamienione miejscami,
- pierwszy akapit na stronie 46 (w świetle wcześniejszych komentarzy na str. 45) jest niepotrzebny.

W treści pracy zauważono szereg drobnych błędów i nieścisłości gramatycznych, które przytoczono w tabeli 1 zamieszczonej na końcu niniejszej recenzji.

## 5. Wniosek końcowy

Po dokonanej ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Mykoli Nagirniaka p.t.: „Modyfikacja modelu podłoża Vlasova” stwierdzam że przedstawia ona oryginalne rozwiązanie problemu posiadającego cechy naukowe, który mieści się w obszarze dyscypliny inżynieria lądowa geodezja i transport. Problem ten posiada zarówno wartość poznawczą jak i wyraźne znaczenie użyteczne dla jego wdrożenia w sferze gospodarczej. Moja recenzja w tym zakresie jest pozytywna.

Ponadto Doktorant, w trakcie realizacji badań wykazał się szeroką wiedzą w zakresie tematyki związanej z rozprawą doktorską oraz poprawnie opracował odpowiednią metodykę badań, które umożliwiły skuteczne rozwiązanie złożonego problemu naukowego, potwierdzając tym samym jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej badawczej.

Na tej podstawie stwierdzam, że zostały spełnione wymagania formalne stawiane pracownikom doktorskim znajdującym się w obowiązującym akcie prawnym i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Mykoli Nagirniaka do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.



Tabela 1 – drobne błędy edytorskie w tekście pracy

<b>Lokalizacja</b> Strona/wers (g – od góry; d -od dołu)	<b>Tekst</b>
Str. 16/w. 4g	wyprowadzone jest znane równania płyty
Str. 16/w. 11d	w odróżnieniu od wiele innych prac
Str. 16/ w. 9d	dotyczyła na uwzględnieniu poziomych
Str. 17/ w. 3g	zostanie też poświęcona uwaga modyfikacji funkcji znikania
Str. 17/ w. 7g	Główną uwagę poświęcono
Str. 19/ w. 14g	otrzymywane wprowadzeniem różnych
Str. 19/w. 19g.	poprzeczną izotropie ośrodka
Str. 19/w. 8d	są stałe po głębokości
Str. 19/w. 6d	zmiennej po głębokości
Str. 21/w.10g	spórzędną
Str. 39/ w. 6g	maksymalne przemieszczenia pionowe nieograniczenie rośnie
Str. 41/w. 2d	Obliczenia całek odwrotnej transformacji Fouriera jest uciążliwe
Str. 59/w. przypis	Stałe całkowania, ze względu na skomplikowaną postać, nie podajemy w tej pracy
Str. 101/w. 3g	Zmienność tych parametrów po głębokości warstwy są
Str. 103/w. 14d	wpływa na zwiększenia rzędu układu równań
Str. 135/w. 9d	rys. 7.52-7.52
Str. 144/w. 4g	Sztywność początkowa gruntu
Str. 151/w. 6d	Pomijając wpływem naprężeń efektywnych
Str. 152/w. 3d	ma średnie naprężenia efektywne
Str. 154/w. 11g	wartość moduły
Str. 164/w. 12d	na podłożu sprężystym i jest względnie łatwy
Str. 157/w. 13g	wyniki całkowania znacznie zależą