

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Tajduś
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
Al. Mickiewicza 30
Kraków 30-059

Kraków, 06.09.2023

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej **mgr inż. Katarzyny Nowak**

p.t.:

„OPRACOWANIE TEORETYCZNYCH PODSTAW NOWEGO SPOSOBU REKTYFIKACJI BUDYNKÓW PODDANYCH WPLYWOM GÓRNICZYM, KTÓRY POZWALA NA MINIMALIZACJĘ KOSZTÓW Z TYM ZWIĄZANYCH”

Recenzję niniejszej pracy wykonałem na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Politechniki Śląskiej w Gliwicach.
Rada Dyscypliny uchwałą z dnia 29 czerwca 2023, powołała mnie na recenzenta niniejszej pracy doktorskiej.

Promotorem ocenianej rozprawy doktorskiej jest Pan prof. dr hab. inż. Leszek Szojda, a promotorem pomocniczym, Pan dr inż. Adam Marek.

Ocena wyboru tematu pracy:

Doktorantka swojej pracy doktorskiej skupiła się nad ustaleniem optymalnych parametrów pracy fundamentu podwójnego rozdzielonego warstwą poślizgową, umożliwiającego w założeniu szybką, prostą i taną rektyfikację wychylonego budynku. W ramach prowadzonych prac, Pani K. Nowak przeprowadziła analizę wartości współczynników tarcia warstw poślizgowych dla czterech różnych typów smarów Grupy LOTOS S.A., w zależności od temperatury i ciśnienia pionowego. Następnie wytypowała warstwę poślizgową o najmniejszym współczynniku tarcia dla temperatury 20°C. Przeprowadziła na niej badania i określiła wartości współczynników tarcia dla modelu o sferycznej powierzchni styku dwóch fundamentów. Aby następnie przeprowadzić analizę numeryczną modeli odzwierciedlających przeprowadzone badania laboratoryjne.

W mojej opinii, wybór tematu pracy jak i również przeprowadzone badania są interesujące. Zaproponowane w doktoracie rozwiązanie z podwójnym fundamentem o sferycznej płaszczyźnie styku, które jest również przedmiotem patentu, jest ciekawe i w przyszłości może (po przeprowadzeniu dalszych badań i analiz), zostać z powodzeniem wdrożone w przemyśle budowlanym na terenach górniczych.

Przedstawiony mi do oceny doktorat można podzielić na trzy główne części:

- badania laboratoryjne warstwy poślizgowej oraz analiza wyników,
- badania laboratoryjne modelu powierzchni sferycznej wraz z analizą uzyskanych wyników, oraz
- budowa modeli MES odzwierciedlających przeprowadzone, w poprzednich rozdziałach badania laboratoryjne, wraz z analizą wyników.

W pierwszej części doktorantka przeprowadziła szereg badań laboratoryjnych analizując warunki pracy smarów w zależności od temperatury (5, 10, 20, 30, 40, 50°C) i naprężenia (100, 150, 200, 250, 300 kPa). Wykazała ona, że wartości współczynników tarcia statycznego rosną (w większości przypadków) wraz ze wzrostem temperatury. Oznacza to, że przy większej temperaturze należy zastosować większą siłę poziomą, aby poruszyć układ. Dodatkowo badania te pozwoliły na dokonanie selekcji zastosowanych smarów i wybór optymalnego (LOTOS Sulfocal 302).

W drugiej części pracy Pani Katarzyna Nowak przeprowadziła badania laboratoryjne dla różnych kształtów kontaktu dwóch części fundamentów, przy zastosowaniu wytypowanego w badaniach smaru oraz stałej temperaturze 20°C. W wyniku przeprowadzonych badań doktorantka wyciągnęła następujące wnioski:

- ✓ wartości współczynników tarcia statycznego maleją wraz z redukcją wartości promienia zakrzywienia powierzchni stykowej fundamentów,
- ✓ uzyskane wyniki są silnie zależne od technologii wykonania powierzchni kontaktu,
- ✓ najniższe wartości współczynnika tarcia statycznego uzyskano dla modelu powierzchni sferycznej z wypukłością skierowaną ku dołowi.

Trzecia część recenzowanego doktoratu zawiera analizy numeryczne oparte na metodzie elementów skończonych w programie Abaqus 2020. Doktorantka przeprowadzała obliczenia 3D próbując odzwierciedlić warunki prowadzonych, w poprzednich rozdziałach, badań laboratoryjnych. Zaprezentowała dwa modele numeryczne: dla analizy warstwy poślizgowej oraz analizy powierzchni sferycznej. Pierwszy model przedstawiał trzy bryły betonowe ułożone warstwami wraz ze stalowymi bryłami oporowymi zlokalizowanymi od góry i dołu modelu. Przyjęto model izotropowy liniowo sprężysty o zadanych parametrach materiałowych. Na styku betonowych płyt przyjęto warunki kontaktu (Surface to Surface/Friction). Na powierzchnię górną modelu zadano ciśnienie odpowiadające naprężeniom zgodnym z badaniami zaprezentowanymi w rozdziale 6. W kolejnym etapie (Stage) wymuszono przemieszczenie poziome środkowej płyty betonowej (10mm). Uzyskane wyniki analiz numerycznych doktorantka przedstawiła w tabeli oraz na mapach naprężeń (od 9-9 do 9-17). W drugim modelu mgr inż. Nowak zaprezentowała układ składający się z dwóch płyt betonowych i dziewięciu podkładek wraz ze sprężynami stalowymi. Przyjęto to samo prawo materiałowe oraz warunki kontaktu. Płyty poddano równomiernemu obciążeniu pionowemu odpowiadającemu warunkom zaprezentowanym w rozdziale 7, a następnie wymuszono przemieszczenie poziome górnej płyty betonowej o wartość 20mm. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli oraz na mapach: przemieszczeń (10-6, 10-17), sił (10-7) oraz naprężeń

(od 10-8 do 10-16). W podsumowaniu po przeprowadzonych obliczeniach numerycznych oraz analizie wyników doktorantka stwierdziła, że tak przygotowane modele numeryczne pozwalają na ocenę zachowania konstrukcji całego budynku (podczas procesu rektyfikacji) bez konieczności prowadzenia badań laboratoryjnych.

Podczas czytania doktoratu Pani Katarzyny Nowak nasunęły mi się następujące uwagi do pracy:

- [1]. Nie widzę potrzeby tak szerokiego opisu aspektów ekonomicznych w przypadku którym, doktorantka nie wykorzystywała w dalszej części pracy zaprezentowanych wzorów.
- [2]. Na wykresach wyników badań zależności współczynnika tarcia od naprężenia, oraz wrysowanych liniach trendu brakuje wartości wskaźnika dopasowania (rozdział 6 i 8).
- [3]. Str. 65, rys. 6-6: proszę o komentarz dlaczego w przypadku temperatury 10°C współczynnik tarcia dla smaru LT4 S-2 maleje podczas gdy dla temperatur °C: 5, 20, 30, ma tendencję rosnącą?
- [4]. Str. 67, rys. 6-8: czy uzyskana w trakcie pomiaru wartość współczynnika tarcia dla smaru Sulfocal 302 (przy naprężeniu 300 kPa) może być traktowana jako błąd pomiarowy? Gdyby tak przyjąć i odrzucić ten wynik (można zastosować metodę analizy błędów grubego) wówczas najprawdopodobniej wartość współczynnika tarcia rosłaby wraz ze wzrostem naprężenia dla temp. 30°C, a zastosowana regresja liniowa miałaby wyższą wartość dopasowania.
- [5]. Str. 71, tabela 6-7: nie wszystkie wartości mają tendencję opisaną przez doktorantkę na stronie 74. Brak analizy odchylenia standardowego pomiaru oraz określenia podstawowych parametrów statystycznych błędów pomiarów.
- [6]. Dlaczego przy analizie numerycznej zastosowano model liniowo sprężysty, a nie uwzględniono np. plastyczności materiału (przykładowo, Abaqus w swoich bibliotekach posiada opisany model „Concrete Damage Plasticity”)?
- [7]. Jakie warunki zostały założone na model kontaktu „Surf. to Surf.”, aby ograniczyć penetrację powierzchni „master” w „slave”?
- [8]. Dlaczego nie zastosowano kontaktu typu „cohesive” w celu odzwierciedlenia zastosowanego smaru w badaniach laboratoryjnych?
- [9]. Str. 97, tabela 9-2: dlaczego wartości współczynników tarcia określonych dla badań laboratoryjnych różnią się od wartości przyjętych w modelowaniu w celu określenia wartości siły poziomej?
- [10]. Str. 106: Zbyt krótki w mojej ocenie, opis uzyskanych wyników analiz numerycznych. Należałoby bardziej rozwinąć tą część rozdziału.
- [11]. Str. 108, rys. 10-1: Czy na zaprezentowanym modelu sprężyny modelowane są jako elementy „spring” (z renderingiem)?
- [12]. Str. 110, rys. 10-4: Zakładając brak kontaktu między podkładką i płytą należy w przyszłości rozważyć poprawę siatki elementów.
- [13]. Str. 114, rys. 10-8a: dlaczego w modelu przy założeniu jedynie obciążenia pionowego, mapa naprężeń S_1 nie ma równomiernego rozkładu.
- [14]. Rys. 10-8, 10-14: proszę przyrzeć się siatce elementów i proszę o komentarz.

- [15]. Brakuje mi opisu stosowanych dotychczas modeli numerycznych fundamentów wraz z powierzchnią nieciągłości.

Uwagi drobne:

- [1]. Str.14, *Metoda DMT*: zalecam doktorantce powoływanie się na materiały źródłowe, a nie późniejsze prace.
- [2]. Str. 21: Metoda opisana w podpunkcie 3.1.12 wydaje się być taka sama w zakresie zastosowanej technologii jak 3.1.6 - nie ma potrzeby ich rozdzielać.
- [3]. Zamiast słowa „siatkowanie” sugerowałbym używać „dyskretyzacja”.
- [4]. Str. 94: „siatkowanie kwadratowe” rozumiem, że doktorantka miała na myśli dyskretyzację sześcienną (model 3D).

Wniosek końcowy

Podjęty przez Panią mgr inż. Katarzynę Nowak temat „*Opracowanie teoretycznych podstaw nowego sposobu rektyfikacji budynków poddanych wpływom górniczym, który pozwala na minimalizację kosztów z tym związanych*” jest problemem złożonym i trudnym.

Doktorantka przeprowadziła rzeczową analizę problemu uwzględniając różne metody badawcze w tym badania laboratoryjne na przygotowanych przez siebie stanowiskach pomiarowych oraz analizy numeryczne MES. Świadczy to o dużym wachlarzu umiejętności Pani magister, co pozwoliło na dogłębną analizę problemu.

Praca doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Nowak cechuje się prawidłową konstrukcją, układ tekstu jest przejrzysty, a w większości ilustracje, wykresy i tabele w sposób właściwy prezentują wyniki przeprowadzonych obliczeń i analiz.

Ostatecznie stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska, pomimo kilku uwag, jest oryginalnym rozwiązaniem zaprezentowanego w niej ciekawego zagadnienia naukowego i ma istotne znaczenie zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i praktycznego. Doktorantka wykazała się kompetencją naukową w obszarze analizy zagadnień z dyscypliny inżynierii lądowej, geodezji i transportu. Z tego powodu po przeprowadzeniu merytorycznej analizy i oceny pracy stwierdzam, że **mgr inż. Katarzyna Nowak** posiada umiejętność prowadzenia badań naukowych i rozwiązywania problemów ze szczególnym uwzględnieniem aspektów praktycznych efektów swoich dociekań, a przedstawiona mi do recenzji praca doktorska w pełni spełnia wymagania obowiązującej ustawy z dnia 20 lipca 2018. Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Politechniki Śląskiej w Gliwicach o przyjęcie tej pracy jako pracy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Tajduś