

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

Kraków, 25.09.2023

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej **mgra inż. Michała Siegmunda**

p.t.:

„METODA ODSPAJANIA SKAŁ Z UŻYCIEM KOTEW”

Recenzję niniejszej pracy wykonałem na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Rada Dyscypliny uchwałą z dnia 13 lipca 2023, powołała mnie na recenzenta niniejszej pracy doktorskiej.

Promotorem ocenianej rozprawy doktorskiej jest Pan prof. dr hab. inż. Józef Jonak, a promotorem pomocniczym, Pan dr inż. Krzysztof Tomiczek.

Ocena wyboru tematu pracy, opis uzyskanych osiągnięć

Pan mgr inż. Michał Siegmund skupił się w swojej pracy doktorskiej nad zagadnieniem alternatywnej metody urabiania mechanicznego polegającej na odspajaniu większych brył skalnych przy jednoczesnym wrywaniu kotew. W ramach prowadzonych prac, doktorant przeprowadził ciekawe badania warunków wrywania kotew podcinających zarówno w warunkach *in situ* kopalni podziemnej (Guido) oraz odkrywkowych (Zalas, Braciszów, Brenna), jak i również badania laboratoryjne parametrów wytrzymałościowych na próbkach pobranych z ww. rejonów kopalń. Przedstawione w rozdziale 4 wyniki badań laboratoryjnych fizyko-mechanicznych skał wykonywane były zgodnie z wytycznymi towarzystwa ISRM (2015). Badano następujące parametry pobranych próbek skał: wytrzymałość graniczna na jednoosiowe ściskanie, wytrzymałość graniczna na jednoosiowe rozciąganie (próba brazylijska), spójność i kohezja, a ich wyniki przedstawiono w tabeli. Dodatkowo przeprowadzono badanie innych właściwości fizyko-mechanicznych dla dwóch skał: piaskowiec – Braciszów, piaskowiec – Brenna: moduł Younga, liczby Poissona, krytyczny współczynnik intensywności naprężeń w pierwszym typie pęknięcia oraz krytyczna energia pęknięcia. Powyższe badania przeprowadzono w ramach realizacji projektu badawczego RODEST. Doktorant przedstawił wyniki dla ponad 120 prób wrywania kotew podcinających wraz z pomiarem stożków zniszczenia oraz analizą trajektorii szczeliny odspajającej. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że dla badanych efektywnych głębokości kotwienia analizowanych skał, zasięg powierzchni zniszczenia jest znaczenie większy niż to wynika

z dotychczasowych metod obliczeniowych stosowanych w konstrukcjach betonowych, a wartość kąta stożka zniszczenia jest znacząco mniejsza. Dużą część swojej pracy doktorant poświęcił na weryfikację przydatności stosowanych modeli empirycznych. Pracę tę wykonał w oparciu o statystyczne modele regresyjne oraz wykorzystując sztuczne sieci neuronowe (ANN). Doktorant analizy ANN przeprowadził dla skromnego zestawu danych (112 próbek). Ogólnie uważa się, że aby uniknąć tzw. „przekleństwa wymiarowości” zbiór ten powinien być znacznie większy, natomiast z punktu widzenia prowadzonych badań oraz tematyki pracy można uznać, że liczba ta jest zrozumiała. W kolejnym etapie pracy doktorant przeprowadził analizy numeryczne MES 2D i 3D, dla różnych warunków kotwienia oraz parametrów mechanicznych górotworu. W wyniku przeprowadzonych analiz doktorant zauważył, że dla przyjętych warunków brzegowych modeli, zasięg powierzchni zniszczenia jest znacznie większy niż wynika to z procedur obliczeniowych stosowanych dla konstrukcji betonowych, oraz odmienny jest jego kształt. Wyniki te potwierdziły wnioski zaprezentowane w poprzednich rozdziałach pracy, m.in. badaniami nad modelami empirycznymi oraz analitycznymi. Ostatnim elementem zaprezentowanej do recenzji pracy doktorskiej jest propozycja zmodyfikowanej metody odspajania skał od calizny wykorzystując w tym celu dno otworu wiertniczego. Doktorant przedstawił schemat prototypu głowicy odrywającej wykorzystującej w swoim działaniu mechanizm śrubowy oraz multiplikator momentu.

W mojej opinii, wybór tematu pracy jak i również przeprowadzone badania są bardzo interesujące. Zaproponowane w doktoracie rozwiązanie urabiania mechanicznego polegającego na odspajaniu większych brył skalnych przy jednoczesnym wrywaniu kotew, jest ciekawe i w przyszłości może zostać z powodzeniem wdrożone w przemyśle górniczym w rejonach, gdzie prowadzenie prac metodami klasycznymi jest niemożliwe lub mocno utrudnione.

Podczas czytania doktoratu Pana Michała Siegmunda nasunęły mi się następujące uwagi do pracy:

Pytania i uwagi:

- [1]. Czy badania wytrzymałościowe skał przedstawione przez doktoranta zostały wykonane przez Niego osobiście czy zostały zrealizowane w ramach projektu RODEST przez zespoły badawcze jak sugeruje zdanie ze strony 35 (wiersze 12-15)? Jeżeli natomiast praca realizowana była w ramach zespołów to proszę o informacje jaki udział był doktoranta w prowadzonych badaniach *in situ* oraz laboratoryjnych.
- [2]. Str. 39: Badania jednoosiowego rozciągania (mono- i wielocyklicznego) były prowadzone również w innych jednostkach badawczych w Polsce, przez różnych naukowców. Należałoby zacytować również inne nazwiska zajmujące się tą tematyką lub ewentualnie dodać skrót „m.in.” przed nazwiskiem, na które powołuje się autor rozprawy.
- [3]. Str. 49-50: Brak informacji jaki model został zastosowany (jakie prawo materiałowe) oraz brak informacji o zastosowanych wartościach parametrów mechanicznych wykorzystanych w modelu podpory.
- [4]. Rozdział 5.4: Dlaczego doktorant badał więcej niż jedną warstwę ukrytą. Czy taka analiza ma wpływ na działanie sieci? Zgodnie z wnioskami prof. Tadeusiewicza,

- dotatkowa warstwa nie ma wpływu na uzyskany wynik. Jeżeli doktorant zgadza się z tą sugestią to dlaczego przeprowadził badanie więcej niż jednej warstwy ukrytej?
- [5].Rozdział 5.4: Dlaczego doktorant zastosował akurat taką metodę oceny wrażliwości (str. 105-106)? Dlaczego nie przeprowadził analizy wrażliwości polegającej przykładowo na usuwaniu poszczególnych zmiennych (Lower Limb Amputation)?
- [6].Rozdział 5.4: Dlaczego doktorant ograniczył swoje badania jedynie do sieci neuronowych (ANN) i nie zastosował dostępnej w programie Statistica metody SVM (Support Vector Machine)?
- [7].Rozdział 5.4: Czy doktorant sprawdzał również inne metody uczenia sieci niż zastosowana Levenberg–Marquardt?
- [8].Str. 132: Dlaczego wykorzystane w modelach wartości parametrów E , ν różniły się od wartości z badań laboratoryjnych, określonych jako „zastosowane w analizach MES” (str. 47 tab. 2)?
- [9].Czy w modelach numerycznych doktorant zastosował pierwotny stan naprężenia?
- [10]. Z opisu na stronie 132 wynika, że materiał liniowo sprężysty posiada wytrzymałość na rozciąganie, czy jest to prawda?
- [11]. Str. 133, rys. 109: Dlaczego górna część modelu (nad linią partycji) nie ma założonych warunków brzegowych?
- [12]. Str. 137, rys. 112: Opis informuje, że kontakt doktorant modelował jedynie dla „linii pogrubionej”. Czyli dla odcinka, który w rzucie na oś Y ma długość 20,4. Dlaczego nie zamodelowano kontaktu dla pozostałych stref stycznych kotew/skała?
- [13]. Str. 138, rys. 114: Przyjęte przez doktoranta warunki brzegowe dla modelu 2D są dla recenzenta niezrozumiałe. Proszę o komentarz, dlaczego na długości kotwy nie ma założonych warunków brzegowych, np.: $u_x = 0$, $u_y \neq 0$? Również, dlaczego na boku modelu w równoległym do płaszczyzny Y zadano dwie różne podpory: z przesuwem - $\begin{cases} u_x = 0 \\ u_y \neq 0 \end{cases}$, oraz podporę bez przesuwu - $u_x = u_y = u_z = 0$? Dlaczego w modelu 2D zastosowano ograniczenie przemieszczenia podpory w kierunku 3-cim?
- [14]. Str. 139: Przeprowadzając analizę wariantową MES dobrze jest porównywać uzyskane wyniki dla modeli różniących się między sobą tylko jedną zmienną przy pozostałych parametrach = *const*. Doktorant natomiast porównał dwa modele o różnych modułach Younga: (a) $E=14,276$ GPa i (b) $E=9,287$ GPa, gdzie w ramach tych modeli dla każdego przeprowadził dwie analizy wariantowe dla dodatkowo różnych liczb Poissona: model (a) 0,15 i 0,20 oraz model (b) 0,25 i 0,30. Na bazie tych obliczeń doktorant wysnuł wnioski.
- [15]. Str. 145, rys. 121d: Na rysunku brak jest informacji jakie warunki brzegowe zostały narzucone na kierunku x (od strony kotwy).
- [16]. Str. 145, rys. 121c: Jakie warunki brzegowe zostały narzucone na strefę z kotwą (bok na kierunku z)? Rysunek jest niewyraźny, natomiast sugeruje zastosowanie podpory bez przesuwu. Dodatkowo zdanie w wierszach 1-3, str. 146 nie rozjaśnia wątpliwości.
- [17]. Str. 146: Dlaczego w modelu zmieniono wartość E w porównaniu do poprzednich modeli (wartość krytycznych naprężeń głównych pozostała niezmienną dla wszystkich modeli)?

[18]. Str. 156, rys. 132: jakie warunki brzegowe przyjęto dla warstwy górnej modelu?

Uwagi drobne:

- [1].Str. 128: Dlaczego doktorant wykorzystał wersję programu Abaqus, która uniemożliwiła zadanie kontaktu dla modelu 3D?
- [2].Str. 133: Dobór zakresu wyświetlany na legendzie jest możliwy do zmiany i nie musi być wyświetlany automatycznie.
- [3].Str. 133: Dobór kolorów uzyskanych map naprężeń, odkształceń i przemieszczeń w programie Abaqus zależny jest od użytkownika. Bezpieczniej jest stwierdzić, że naprężenia ściskające określane są ze znakiem „-”, a rozciągające „+”.
- [4].Str. 137, rys. 112: Brak jednostek na rysunku.
- [5].Str. 140: Zdanie autora „*Rośnie wielkość odkształceń materiału (...) w głąb materiału.*” przedstawia wiarygodne wnioski natomiast, aby być pewien prawdziwości tego stwierdzenia należałoby w Abaqusie ustawić ten sam zakres naprężeń maksymalnych na legendzie.
- [6].Str. 141: Zdania autora „*(...) wpływ modułu Younga E na propagację (...) w głąb materiału.*” mają sens fizyczny. Natomiast trudno z rysunków 115 i 116 dostrzec tę zależność. Sugeruję się inne przedstawienie wyników.
- [7].Str. 155, tab. 19: czy wartość 14,276 MPa jest właściwa?

Wniosek końcowy

Podjęty przez Pana mgr inż. **Michała Siegmunda** temat „Metoda odspajania skał z użyciem kotew” jest problemem ciekawym. Doktorant przeprowadził rzeczową analizę problemu uwzględniając różne metody badawcze, w tym:

- badania laboratoryjne parametrów wytrzymałościowych,
- badania *in situ*,
- analizy analityczne,
- analizy bazujące na sieciach neuronowych, oraz
- analizy numeryczne MES.

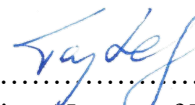
Zastosowane metody badawcze świadczą o wysokich umiejętnościach doktoranta w stosowaniu szerokiego zakresu narzędzi badawczych, co pozwoliło na dogłębną analizę problemu.

Praca doktorska Pana mgr inż. Michała Siegmunda cechuje się prawidłową konstrukcją, układ tekstu jest przejrzysty, a w dużej 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. Doktorant wykazał się kompetencją naukową w obszarze analizy zagadnień z dyscypliny inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki. Stwierdzam, że **mgr inż. Michał Siegmund** 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 14 marca 2003r.

Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Śląskiej w Gliwicach o przyjęcie tej pracy jako pracy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



.....
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Tajduś