

Katowice, 30.08.2023r.

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Mutke
Zakład Geologii, Geofizyki i Ochrony Powierzchni
Główny Instytut Górnictwa
Katowice, Plac Gwarków 1

Recenzja

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Eryka Święch
pod tytułem: „*Otworowy monitoring mikrosejsmiczny szczelinowania hydraulicznego warstw z niekonwencjonalnymi złożami gazu ziemnego. Optymalizacja metod akwizycji, przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych*”

Rozprawa doktorska została opracowana w Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie.

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Michał Stefaniuk prof. AGH oraz promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Maćkowski

Informacje wstępne

Podstawą wykonania recenzji była decyzja Rady Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 05.06.2023 roku oraz pismo Przewodniczącego Rady, Pana prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza, z dnia 12.06.2023r. o znakach RDN-NoZIS-dz.510-7/2023.

Przewód doktorski prowadzony jest na podstawie Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki w związku z art. 179 ust.1 i 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Zgodnie z wymogami Ustawy rozprawa doktorska powinna być "*oryginalnym rozwiązaniem przez Doktoranta określonego zagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej*". Przede wszystkim do tych trzech wymagań ustawowych recenzent odniósł się w ocenie przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska posiada 137 stron objętości. Zawiera 6 głównych rozdziałów, spis figur z 63 pozycjami, spis tabel z 8 pozycjami oraz spis literatury obejmujący 84 pozycje. Tekst rozprawy poprzedzony jest oświadczeniem autora rozprawy doktorskiej o jej oryginalności, samodzielności jej przygotowania i o nienaruszeniu praw

autorskich oraz zgodności z wersją cyfrową, oświadczeniem kierującego pracą oraz streszczeniem w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1 przedstawiono ogólne informacje o procesach szczelinowania hydraulicznego, metodzie mikro-sejsmologicznej oraz sformułowano tezy pracy:

„- Adaptacja techniki akwizycji otworowego monitoringu mikrosejsmicznego poprzez zastosowanie odbiorników szerokopasmowych w połączeniu z modelowaniem numerycznym pozwala na zaprojektowanie optymalnego rozstawu monitorującego.

- Wpływ anizotropii ośrodka oraz zmiana jego gęstości wynikająca ze szczelinowania hydraulicznego utrudnia wykorzystanie jednego modelu prędkości w przetwarzaniu danych mikrosejsmicznych.

- Ilość zidentyfikowanych zdarzeń mikrosejsmicznych zależy od własności petrofizycznych, w tym tłumienia warstw szczelinowanych oraz nadkładu.

- Minimalizacja niepewności lokalizacji zdarzeń mikrosejsmicznych możliwa jest poprzez dobór odpowiednich parametrów preprocesingu danych oraz korektę wyników lokalizacji zdarzeń metodą TGS z wykorzystaniem alternatywnych metod na podstawie danych syntetycznych i empirycznych.”

W rozdziale 2 doktorant przedstawił charakterystykę obszaru badań. W rozdziale 3 metodykę projektowania otworowego monitoringu mikrosejsmicznego szczelinowania hydraulicznego, w oparciu o ukierunkowane, liczne modelowania numeryczne z wykorzystaniem rzeczywistego modelu prędkości. Przygotował konstrukcję modelu sejsmogeologicznego. W efekcie wyniki symulacji wskazały na ważny wniosek, że zmniejszenie błędu lokalizacji jest możliwe do osiągnięcia nie tylko poprzez dużą liczbę zastosowanych odbiorników, ale również poprzez zwiększenie odległości między nimi. Badania modelowe na danych syntetycznych pozwoliły na opracowanie metodyki badań na danych rzeczywistych, uwzględniając optymalizację wyników w określonych uwarunkowaniach pomiarowych.

W kolejnym rozdziale 4, doktorant opisał metodykę akwizycji danych oraz efektywność przebiegu procesu otworowego monitoringu mikrosejsmicznego szczelinowania. Wykorzystał autorski, optymalny pod względem rozstawu mierników drgań, zestaw pomiarowy.

Rozdział 5 w tej rozprawie to jeden z najważniejszych rozdziałów. Prezentuje wyniki interpretacji rzeczywistych danych pomiarowych. Do obliczeń lokalizacji wykorzystany został algorytm TTGS w wersji izotropowej i anizotropowej. Poruszono również problem niepewności lokalizacji wykrytych zdarzeń mikrosejsmicznych oraz wyznaczania ich magnitud.

Rozdział 6 to podsumowanie i uwagi związane z zastosowaną metodyką badań i uzyskanymi wynikami eksperymentu. Podkreślono, że zaprojektowano układ pomiarowy o długości 334 metry, składający się z 18 trójkomponentowych geofonów ze zmiennym interwałem pomiędzy nimi, który pozwolił na uzyskanie dobrych

rejestracji mikrosejsmicznych. Zweryfikowaną miarą poprawności badanego układu był otrzymany błąd lokalizacji zjawisk mikrosejsmicznych, rozumiany jako różnica położenia danego zdarzenia syntetycznego, pomiędzy wartościami założonymi do symulacji, a uzyskanymi w oparciu o ich lokalizację.

Reasumując uzyskane wyniki pozytywnie weryfikują postawione tezy rozprawy.

Literatura wykorzystana podczas realizacji pracy jest właściwa i uwzględnia wiele osiągnięć naukowych opisanych w liczących się i prestiżowych czasopismach z listy JCR. Należy podkreślić, że w spisie literatury znajdują się dwie pozycje, w których doktorant jest współautorem.

Ocena oryginalności problemu badawczego

Temat rozprawy jest ważny z poznawczego i praktycznego punktu widzenia. Wykorzystanie bowiem modelowań numerycznych do optymalizacji układu pomiarowego, pozwala na tworzenie coraz to bardziej wiarygodnej oceny rozwoju procesu sejsmiczności wywołanej hydroszczelinowaniem skał, a tym samym informacji o skuteczności całego procesu. W skali badań światowych istnieją liczne rozwiązania monitorowania sejsmiczności indukowanej indukowanej hydroszczelinowaniem. Jednak uzyskanie wiarygodnych wyników obliczeń, szczególnie lokalizacji ognisk słabych zjawisk mikrosejsmicznych, jest niezmiernie trudne i musi być dostosowane do warunków geologicznych i możliwości technicznych. W Polsce tego typu obliczenia nie są tak rozwinięte jak badania światowe. Doktorant opracował kompletną metodykę monitorowania oraz badania słabych zjawisk sejsmicznych w warunkach otworów Lubocin i Wysin. Uwzględnił przy tym optymalizację błędów lokalizacji zdarzeń sejsmicznych z uwzględnieniem anizotropii pola prędkości propagacji fal sejsmicznych, stosując modelowania na danych syntetycznych. Ponadto uwzględnił w obliczeniach poprawki na tłumienie ośrodka geologicznego (współczynnik dobroci), co ma istotny wpływ na wielkość wyznaczanych magnitud.

Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Święch pod tytułem: *„Otworowy monitoring mikrosejsmiczny szczelinowania hydraulicznego warstw z niekonwencjonalnymi złożami gazu ziemnego. Optymalizacja metod akwizycji, przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych”*, jest w moim przekonaniu oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego.

Uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym

Recenzent nie zgłasza uwag krytycznych tak do zawartości treści merytorycznej jak i do formy redakcyjnej rozprawy. Jedynie w ramach dyskusji uważam, że wyznaczanie

magnitudy z momentu sejsmicznego z wykorzystaniem formuły 5.11 [Hanks i Kanamori, 1979], dla tak słabych zjawisk sejsmicznych jest problematyczne. Autorzy formuły tworzyli ją dla silnych trzęsień Ziemi i jednym z założeń tych obliczeń było przyjęcie spadku naprężeń dla tych trzęsień na poziomie 100 barów. To założenie dla silnych trzęsień Ziemi potwierdzają liczne obliczenia. Natomiast słabe zjawiska sejsmiczne powstające w trakcie hydroszczelinowania mogą charakteryzować się różnymi spadkami naprężeń w ich źródle. Mam świadomość, że takie rozwiązanie metodyczne stosowane jest w badaniach światowych zjawisk sejsmicznych indukowanych procesami hydroszczelinowania, ale może warto zastanowić się w przyszłości nad nieco zmodyfikowanym sposobem obliczania magnitudy takich zjawisk lub udokumentować wartości ich spadków naprężeń.

Ogólna ocena dysertacji

Wysoko oceniam badania przeprowadzone przez doktoranta. Obliczenia i analizy pozwoliły zrealizować cel dysertacji i udowodnić tezy pracy. Stwierdzam również, że interpretacja wyników obliczeń przedstawiona we wnioskach generalnie jest poprawna

Opracowane przez doktoranta rozwiązania metodyczne, mogą być z powodzeniem wykorzystane w praktyce. Doktorant wykazał się dużą wiedzą merytoryczną podczas realizacji pracy. Pokazał, że potrafi odpowiednio zaplanować badania, zaproponował nowe rozwiązania związane z akwizycją danych pomiarowych i analizą błędów lokalizacji ognisk zjawisk sejsmicznych indukowanych procesami szczelinowania masywu skalnego. Udowodnił, że posiada umiejętności potrzebne do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uważam, że ze względu na dużą wartość naukową i aplikacyjną uzyskanych wyników, powinny one zostać opublikowane. Należy podkreślić, że rozprawa została bardzo starannie zredagowana.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. *Otworowy monitoring mikrosejsmiczny szczelinowania hydraulicznego warstw z niekonwencjonalnymi złożami gazu ziemnego. Optymalizacja metod akwizycji, przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych* jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego i świadczy dostatecznie o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w zakresie dyscypliny naukowej Nauki o Ziemi i Ochrona Środowiska, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uwzględniając powyższe stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Eryka Święcha, spełnia warunki określone w art. 13, ustęp 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595) oraz Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. i wnoszę, aby Rada

Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie, dopuściła Pana mgr inż. Eryka Święcha, do dalszych etapów postępowania w ramach przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Święcha', located on the right side of the page.