

Katowice, 30.06.2025r.

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. Przemysława Sierodzkiego
pod tytułem: *Wysokorozdzielcze monitorowanie zmian prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych w rejonie frontu eksploatowanej ściany pokładu węgla z wykorzystaniem permanentnego, pneumatycznego źródła sejsmicznego*

Przewód doktorski prowadzony jest na Politechnice Śląskiej w Gliwicach, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Leszek Remiorz, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Zbigniew Isakow

Informacje wstępne

Podstawą wykonania recenzji była decyzja Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 24.04.2025 roku oraz pismo Przewodniczącego Rady, Pana prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, z dnia 28.04.2025r. o znakach RIE-BD.512.21.2025.

Przewód doktorski prowadzony jest na podstawie Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zgodnie z wymogami Ustawy rozprawa doktorska powinna być oryginalnym rozwiązaniem przez Doktoranta określonego problemu naukowego, wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przede wszystkim do tych trzech wymagań ustawowych odniosłem się w ocenie przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Struktura rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska posiada 104 strony objętości. Zawiera 10 głównych rozdziałów, spis rysunków z 44 pozycjami, spis tabel z 16 pozycjami oraz spis literatury obejmujący 111 pozycji. Ponadto rozprawa zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1 oraz w rozdziale 2 przedstawiono ogólne informacje wprowadzające do tematu rozprawy doktorskiej oraz sformułowano cel i tezy pracy.

Cel rozprawy:

Zaproponowanie nowej metody uzyskania parametrów górotworu z wykorzystaniem istniejącej aparatury sejsmoakustycznej oraz nowo zaprojektowanego iskrobezpiecznego pneumatycznego wzbudnika sejsmicznego. Metoda ta umożliwi quasi-ciągły pomiar prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych przed frontem ściany wydobywczej węgla kamiennego.

Teza pracy:

Wyniki badań umożliwią identyfikację zmian prędkości, świadczących o zmianach naprężeń, niedostępnych dla obecnych metod, co spowoduje poprawę skuteczności profilaktyki tąpniowej, zwiększając bezpieczeństwo górników i redukując wstrząsy o dużej energii, szkodliwe dla środowiska i infrastruktury.

Rozdział 3 prezentuje dość szeroko podstawy teoretyczne i charakterystykę sejsmicznego pola falowego w pokładzie węgla na podstawie specjalistycznej literatury. Rozdział 4 – mocno rozbudowany – to opis metodyki wyznaczania prędkości sejsmicznej fali kanałowej w pokładzie węgla na podstawie wyników modelowania numerycznego 3D oraz dyspersji sygnału sejsmicznego.

Rozdział 5 to kluczowy dla rozprawy opis iskrobezpiecznego wzbudnika pneumatycznego WZB-2. Urządzenie ma automatycznie generować quasi-ciągłą falę sejsmiczną w pokładzie węglowym, niezbędną do realizacji celu pracy. Wzbudnik WZB-2 uzyskał certyfikat badania typu UE OBAC 22 ATEX 0068X, co jest bardzo istotne i wręcz niezbędne by móc go stosować do pomiarów w podziemnych kopalniach węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, charakteryzujących się zagrożeniem metanowym.

Rozdział 6 to przegląd i analiza rozdzielczości aparatów geofizycznych stosowanych w polskim górnictwie węglowym. Istotny z punktu widzenia możliwości współpracy z wzbudnikiem WZB-2 oraz oprogramowaniem do przetwarzania i analizy wzbudzonych sygnałów sejsmicznych. Zbadano i przeanalizowano rozdzielczość wykorzystywanej aparatury do rejestracji sygnałów sejsmicznych.

W rozdziale 7 doktorant przedstawił testy wzbudnika WZB-2 jako źródła sejsmicznego stosowanego w metodzie tomografii sejsmicznej na poligonie badawczym KGHM O/ZG „RUDNA”. Chociaż dla celów obliczeń tomograficznych próby nie były pomyślne ze względu na synchronizację urządzenia z aparaturą sejsmiczną GEODE-24, to jednak uzyskano zadawalające rejestracje drgań od pojedynczego uderzenia wzbudnika WZB-2, w odległościach do około 180m od źródła.

Rozdział 8 przedstawia wyniki wyznaczonej prędkości podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie węgla z wykorzystaniem wzbudnika WZB-2, na poligonie badawczym KWK Mysłowice-Wesoła. Wykorzystano do tego celu zmodernizowane oprogramowanie systemu ARAMIS M/E, rozbudowanego o algorytm sumowania wzbudzonych fal sejsmicznych. Funkcja ta wykorzystywana jest w normalnym trybie do kalibracji algorytmu lokalizacyjnego.

Rozdział 9 jest drugim kluczowym rozdziałem realizacji dysertacji i przedstawia zastosowanie metodyki pomiarowej oraz wyniki wysokorozdzielczego monitorowania zmian prędkości fal sejsmicznych z wykorzystaniem wzbudnika WZB-2 w KWK ROW Ruch Rydułtowy. W czasie pomiarów postęp ściany eksploatacyjnej oraz sejsmiczność były bardzo małe. Z kilkunastodniowego pomiaru praktycznie tylko trzydobowy odcinek rejestracji nadawał się do analizy. Na tych danych zastosowano w praktyce wagowane składanie fazowe

(ang. phase-weighted stacking) w oknie 10 sąsiednich uderzeń oraz wyznaczono najmniejszą prędkość grupową rozchodzenia się fali kanałowej. Wyniki wykazały niewielką zmienność prędkości grupowej (faza Airy'go) w okresie pomiarów trzydobowych, tj do 60 m/s przy minimum 900 m/s do maksimum 960 m/s.

W rozdziale 10 przedstawiono wnioski, które w zasadzie podsumowują osiągnięcie naukowe i wdrożeniowe doktoranta. Dyskusyjny jest jedynie ostatni wniosek.

Literatura wykorzystana podczas realizacji pracy generalnie jest właściwa i uwzględnia wiele osiągnięć naukowych opisanych w liczących się i prestiżowych czasopismach z listy JCR. Należy jednak podkreślić, że w spisie literatury znajduje się część pozycji słabo związanych z tematem rozprawy. Sugerowałbym w przyszłych publikacjach krótko opisać również kilka kluczowych pozycji, dotyczących badania prędkości fal sejsmicznych w pokładach węgla w kopalniach GZW, gdzie metoda jest rozwijana i stosowana od prawie 50 lat, a w szczególności jej zastosowania do oceny zagrożenia sejsmicznego. Mgr inż. Przemysław Sierodzki jest współautorem 4 publikacji i jednej instrukcji technicznej. Dwie publikacje opublikowane są w renomowanych czasopismach jak „International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences” czy zakwalifikowany do druku artykuł [105] w „Journal of Sustainable Mining”- w tym ostatnim czasopiśmie doktorant jest pierwszym autorem. W niektórych pozycjach literatury można znaleźć drobne błędy w jej cytowaniu, np. pozycja [30], brak numeru i tomu czasopisma.

Podsumowując uważam, że układ dysertacji jest poprawny. Brakuje mi jednak rozdziału przed wnioskami dotyczącego dyskusji uzyskanych wyników badań w odniesieniu do literatury przedmiotu. Częściowo jest to uwzględnione w rozdziale 9.

Ocena oryginalności problemu badawczego

Temat rozprawy jest ważny z poznawczego oraz praktycznego punktu widzenia związanego z quasi ciągłą obserwacją pola prędkości w eksploatowanych pokładach węglowych. Na uwagę zasługuje przede wszystkim oryginalne urządzenie WZB-2 w wersji iskrobezpiecznej do pneumatycznego wzbudzania fal sejsmicznych, opisane w rozprawie w rozdziale 5. Interesująca jest również metodyka wyznaczania minimum prędkości grupowej fali kanałowej z wykorzystaniem krzywej dyspersji dla fazy Airy'go, na wybiegu pola eksploatowanej ściany węglowej. Co prawda w podziemnych kopalniach węgla w GZW stosowana jest metoda profilowań/prześwietlania sejsmicznego pokładów węgla, jednak fale wzbudzone są odpalaniem małych ładunków wybuchowych (MW), a pomiary wykonywane są okresowo, bez możliwości śledzenia zmian pola prędkości w sposób quasi ciągły, np. co godzinę. Zastosowanie wzbudnika WZB-2 pozwala na ciągłą obserwację zmian pola prędkości na wybiegu eksploatowanej ściany węglowej, a tym samym daje możliwość uzyskania informacji o zagrożeniu pokładowymi indukowanymi wstrząsami sejsmicznymi i oddziaływaniu zaszłości górniczych na podziemne wyrobiska oraz ocenie stopnia odprężenia pokładów węgla według metody stosowanej w GZW (opisanej np. w Dubiński J 1989: *Recognition of the zones of seismic hazard in Polish coal mines by using a seismic method w Pure and Applied Geophysics (PAGEOPH)*, vol.129).

Uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym

Wykorzystanie analizy dyspersji fal kanałowych do wyznaczania najniższej prędkości grupowej fali kanałowej w fazie Airy'go,, umożliwia automatyczne wysokorozdzielcze monitorowanie zmian prędkości propagacji tych fal w pokładzie węgla. W podsumowaniu w ostatnim wniosku (str.81)Doktorant zapisał, że „*Wyniki badań umożliwiły identyfikację zmian prędkości, świadczących o zmianach naprężeń, niedostępnych dla obecnych metod. Poprawia to skuteczność profilaktyki tąpniowej, zwiększając bezpieczeństwo górników i redukując wstrząsy o dużej energii, szkodliwe dla środowiska i infrastruktury.*„ Nie mogę się jednak zgodzić w pełni z tym wnioskiem. O ile praca doktoranta umożliwia zastosowanie wzbudnika do quasi ciągłego wzbudzania fal sejsmicznych w pokładzie węglowym oraz wyznaczania najniższej prędkości grupowej w fazie Airy'ego, to aktualnie nie wiemy jaka jest zależność zmian prędkości fali kanałowej w fazie Airy'go ze zmianami naprężenia. Prędkość odniesienia w fazie Airy'go jest zależna od miąższości i litologii pokładu i otoczenia, więc będzie się również zmieniać ze zmianą tych parametrów. Doktorant nie badał tego zagadnienia, więc według recenzenta wniosek jest sformułowany zbyt optymistycznie. Aktualnie stosowane w GZW profilowania i prześwietlania sejsmiczne pokładów węgla wykorzystują empiryczne relacje między przyrostem prędkości propagacji fali w pokładzie węgla i prędkością odniesienia dla różnych głębokości pomiarów, a zmianą naprężeń litostatycznych. Są jednak wyprowadzone dla prędkości obliczanych z pierwszych wejść niskoczęstotliwościowej, najszybszej mody fali P, (np. Dubiński J. i Siata R. 2010”: *Metody sejsmiczne* (rozdział 6.8.1) w pracy zbiorowej „*Metody oceny stanu zagrożenia tąpniętami wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego*” pod redakcją J. Kabiesza – wyd. GIG). Po drugie badania prędkości propagacji fali w pokładach węglowych na wybiegu ściany eksploatacyjnej odnoszą się do oceny zagrożenia raczej słabymi energetycznie wstrząsami sejsmicznymi pokładowymi, z którymi dobrze radzą sobie nowoczesne obudowy w wyrobiskach górniczych. Nie ma więc podstaw sądzić, by tymi badaniami można prognozować i redukować wstrząsy sejsmiczne o dużej energii, szkodliwe dla środowiska i infrastruktury – przynajmniej w badaniach w podziemnych kopalniach węgla. Z ogniskami takich silnych zjawisk sejsmicznych mamy do czynienia przede wszystkim w sztywnych i grubych warstwach piaskowców, łupków piaszczystych, dolomitów i innych tego typu skał oraz w strefach uskokowych. Jednak pomiary w pokładzie węgla niewiele nam powiedzą o zagrożeniu z tych odległych warstw skalnych. Lokalnie będzie wnioskować tylko o ewentualnym oddziaływaniu zasłności eksploatacyjnych na wzrost prędkości fali pokładowej i tym samym ogólnie o podwyższonym zagrożeniu sejsmicznym, ze względu na podatność takiej strefy na zaistnienie tąpnięć, jako wtórnego dociążenia pokładu chwilowymi naprężeniami od stropowego, spągowego lub aktywowanego na uskoku zjawiska sejsmicznego. Należy mieć na uwadze, że fizycznie znacznie lepiej z naprężeniami związana jest wielkość amplitudy prędkości drgań cząstek górotworu niż prędkość propagacji fal. Proszę doktoranta o ustosunkowanie się do powyższych uwag związanych z oceną zagrożenia sejsmicznego na podstawie minimum prędkości grupowej fal w fazie Airy'go. Jakie przesłanki skłoniły Doktoranta do sformułowania przedmiotowego wniosku.

Inna grupa uwag odnosi się do zjawiska tłumienia fal objętościowych, które w polu dalekim maleją odwrotnie proporcjonalnie do odległości R a nie z kwadratem odległości R^2 , natomiast dla fal kanałowych i powierzchniowych maleją odwrotnie proporcjonalnie do pierwiastka z odległości, a nie z pierwiastkiem z odległości, jak pisze Doktorant (str.11). W tekście zdarzają się drobne pomyłki lub przekręcanie wyrazów, np. fala refraktująca (str.27) zamiast fala refragująca.

Recenzent zwraca również uwagę na cytaty z niepublikowanej opinii technicznej [109] „Testy wzbudnika zakończyły się pozytywną opinią techniczną z dnia 29.02.2024r., która stwierdza, że „Analiza rejestrowanych zjawisk pozwalała określić prędkości fali na poszczególnych czujnikach oraz ich zmianę pomiędzy kolejnymi cyklami pomiarowymi, co umożliwiała określenie zmian naprężeń w górotworze na przedpolu ściany 05Aw wraz z jej postępem.” (str. 69) – Pytanie do doktoranta: w jaki sposób opinia ta uzasadnia zależność zmian naprężenia od zmian grupowej prędkości propagacji fali w fazie Airy’go ?.

Ogólna ocena dysertacji

Wysoko oceniam badania przeprowadzone przez doktoranta. Opracowanie projektu i prototypu wzbudnika WZB-2 oraz jego zintegrowanie z aparaturą sejsmoakustyczną ARES wraz z odpowiednim oprogramowaniem systemu, pozwoliły zrealizować cel dysertacji. Niniejsza praca doktorska udowodniła, że możliwe jest skonstruowanie mobilnego iskrobezpiecznego i sterowanego pneumatycznego źródła sejsmicznego o stosunkowo małej masie, do bieżącej analizy zmian pola prędkości w pokładzie węgla. Zaprojektowanie przez doktoranta i zastosowanie w badaniach pneumatycznego wzbudnika WZB-2 jest nowością w stosunku do znanych w literaturze rozwiązań. Uzyskanie dla niego certyfikatu do pracy w zakładach zagrożonych wybuchem ATEX oraz przystosowanie do sterowania jego pracą z powierzchni z wykorzystaniem cyfrowej transmisji danych, stosowanej w istniejących systemach kopalnianych, pozwala na jego wdrożenie. Opracowana metodyka pomiarowa umożliwia niemal ciągłe śledzenie prędkości propagacji fal sejsmicznych przed frontem eksploatowanej ściany węglowej. Zastosowanie analizy dyspersji fal kanałowych i wyznaczanie najniższej prędkości rozchodzenia się prędkości grupowej fali sejsmicznej w fazie Airy’go, pozwala na uzyskanie pomiarów o znacznie wyższej rozdzielczości, niż aktualnie powszechnie stosowanej prędkości z pierwszych wejść niskoczęstotliwościowej fali kanałowej lub bezpośredniej w węglu.

Ze względu na niską sejsmiczność, krótki okres obserwacji oraz założenia metodyczne, na poligonach badawczych, nie znaleziono danych pomiarowych potwierdzających skuteczność metodyki do oceny zagrożenia sejsmicznego. Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia w zakresie oceny zagrożenia sejsmicznego metodą sejsmiki pokładowej w kopalniach GZW, można mieć nadzieję, że w przyszłości takie oceny będą możliwe z wykorzystaniem prędkości propagacji fali kanałowej w fazie Airy’go. Doktorant udokumentował realizację celu dysertacji, czyli możliwości ciągłego monitorowania zmian prędkości grupowej rozchodzenia się fal sejsmicznych w fazie Airy’go w rejonie frontu eksploatowanej ściany pokładu węgla, z wykorzystaniem skonstruowanego prototypu permanentnego, pneumatycznego źródła sejsmicznego. Jest to znaczące i oryginalne osiągnięcie doktoranta,

ponieważ do tej pory nie było takiej możliwości badania pola prędkości na wybiegu ściany eksploatacyjnej.

Doktorant wykazał się dużą wiedzą merytoryczną podczas realizacji pracy. Pokazał, że potrafi odpowiednio zaplanować badania, zaproponował nowe rozwiązania techniczne pneumatycznego wzbudnika fal sejsmicznych. Opracował metodykę wyznaczania najwolniejszej grupowej prędkości propagacji fali kanałowej w fazie Airy'go w pokładach węgla. Doktorant potwierdził tym samym możliwość prowadzenia automatycznej, quasi ciągłej obserwacji prędkości propagacji fali kanałowej w pokładzie węgla. Udowodnił, że posiada umiejętności potrzebne do samodzielnego prowadzenia projektów technicznych, konstrukcyjnych i badań naukowych.

Uwagi dyskusyjne i krytyczne związane z wyznaczaniem/oceną zmiany naprężeń na podstawie zmian najwolniejszej grupowej prędkości fali kanałowej w fazie Airy'go wraz z oceną zagrożenia sejsmicznego, nie były związane z podstawowym celem pracy i tym samym nie wpływają na jej ocenę. W przyszłości doktorant może prowadzić badania w kierunku opracowania ww. zależności empirycznych, korzystając z opracowanego w doktoracie wzbudnika oraz wyników przetworzonych pomiarów sejsmicznych. Należy również podkreślić, że zmienność litologiczna pokładów węgla w GZW oraz wysokie szумы przemysłowe, nie w każdej sytuacji pomiarowej pozwolą na wydzielenie fazy Airy'go, co może być utrudnieniem w jej powszechnym zastosowaniu.

Uważam, że praca charakteryzuje się dużą zdolnością wdrożeniową oraz wartością naukową uzyskanych wyników.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. *„Wysokorozdzielcze monitorowanie zmian prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych w rejonie frontu eksploatowanej ściany pokładu węgla z wykorzystaniem permanentnego, pneumatycznego źródła sejsmicznego”* jest oryginalnym rozwiązaniem projektu technicznego oraz naukowego i świadczy dostatecznie o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uwzględniając powyższe stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Sierodzkiego, spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) i wnoszę, aby Rada Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej dopuściła Pana mgr inż. Przemysława Sierodzkiego, do dalszych etapów postępowania w ramach przewodu doktorskiego.

Podpisał Grzegorz Mutke