

SN.410.8.33.2025

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WERYFIKACJA	
20.01.2026r.	
Nr. uz.
Ref.

Warsawa 19.01.2026r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. Alicja Caputa**

**pt. „Analiza wpływu aktywnej profilaktyki tąpniowej na źródła wstrząsów indukowanych
działalnością górniczą”**

Recenzent: Dr hab. Artur Cichowicz

Podstawa prawna: Recenzja przygotowana na wniosek Rady Naukowej

Instytutu Geofizyki PAN z dnia 27 listopada 2025r.

Opis recenzowanej pracy.

Recenzowana praca jest studium składającym się z 165 stron tekstu. Spis bibliograficzny obejmuje ponad 200 opublikowanych pozycji. Mgr Alicja Caputa jest pierwszą autorką czterech publikacji w renomowanych czasopismach seismologicznych, opublikowanych w latach 2015–2021, co świadczy o jej ugruntowanej pozycji w środowisku naukowym.

Wiodącym celem pracy była weryfikacja hipotezy, czy wstrząsy wywołane detonacjami materiałów wybuchowych różnią się pod względem charakterystyk źródła od zjawisk sejsmicznych niezwiązanych ze strzelaniami. Ważnym elementem rozprawy była również ocena jakości sieci monitoringu oraz rozszerzenie wiedzy na temat możliwości wyznaczania stabilnych mechanizmów źródła.

Własną analizę Kandydatka rozpoczęła od testów syntetycznych dotyczących jakości estymacji tensora momentu sejsmicznego. Skoncentrowano się na ocenie zdolności podziemnej sieci monitoringu do wiarygodnego wyznaczania parametrów źródła, wykorzystując w tym celu zarówno inwersję fali P, jak i pełnego pola falowego.

Analiza danych rzeczywistych została poprzedzona opisem warunków geologiczno-górniczych badanego obszaru oraz charakterystyką prac strzałowych prowadzonych w sąsiedztwie pól eksploatacyjnych. Opisano proces selekcji danych, w którym kluczowym kryterium wyboru był czas wystąpienia wstrząsu względem momentu detonacji.

Dla wyselekcjonowanego zbioru danych przeprowadzono analizę spektralną parametrów źródła, wyznaczając poziom spektralny oraz częstotliwość narożną. Następnie dla każdego zjawiska obliczono parametry fizyczne i przeanalizowano relacje między nimi w grupach wstrząsów, co pozwoliło na ocenę stanu naprężeń w badanym ośrodku.

Ogólna ocena rozprawy doktorskiej.

W ocenie ogólnej Kandydatka wykazała się głęboką wiedzą z zakresu monitoringu seismologicznego oraz interpretacji parametrów źródła, ze szczególnym uwzględnieniem procesów zachodzących w pobliżu aktywnych wyrobisk. Uzyskane wyniki, zwłaszcza w

obszarze mechanizmów wstrząsów występujących bezpośrednio po strzelaniach, stanowią oryginalny wkład w zrozumienie sejsmiczności indukowanej.

Struktura rozprawy jest bardzo logiczna i kompletna, co przekłada się na wysoką wartość merytoryczną w dziedzinie sejsmologii obserwacyjnej. Autorka wykorzystwała istniejącą sieć sejsmiczną zaprojektowaną pierwotnie głównie do celów lokalizacyjnych. Tym bardziej na uznanie zasługuje fakt, że Autorce udało się przeprowadzić zaawansowaną analizę tensora momentu w oparciu o niskie częstotliwości sygnału sejsmicznego.

Moją uwagę zwróciło trafne zastosowanie nieparametrycznego testu Manna-Whitneya w celu określenia podobieństwa badanych grup wstrząsów. Ze względu na małą liczebność próby, weryfikacja normalności rozkładu była utrudniona, co w pełni uzasadnia wybór tego narzędzia statystycznego. Interesujące jest oryginalne zastosowanie kąta Kagana do porównania wyników inwersji tensora momentu uzyskanych dwiema różnymi metodami obliczeniowymi.

Analizę spektralną wykonano jedynie dla wąskiej grupy wstrząsów, zakwalifikowanych wcześniej do inwersji tensora momentu sejsmicznego. Z tego powodu z pierwotnej bazy tysięcy zjawisk do szczegółowych obliczeń pozostało jedynie kilkadziesiąt. W ramach tej wyselekcjonowanej grupy przeprowadzono oddzielną analizę dla zjawisk po strzelaniach (Grupa I) oraz zjawisk samoistnych (Grupa II), co stanowiło jeden z głównych celów pracy doktorskiej. Wstrząsy Grupy I wykazują większy pozorny stress niż wstrząsy Grupy II. Na szczególne podkreślenie zasługuje wniosek, iż „wstrząsy występujące samoistnie w trakcie pracy kopalni powstawały najczęściej na już istniejących pęknięciach lub uskokach w obrębie górotworu”. Jest to konkluzja niebanalna. Można zakładać, że w kopalniach (poza wyjątkowymi przypadkami) nie występuje klasyczna sejsmiczność naturalna. Bez wyników Autorki można by argumentować, że wstrząsy samoistne, powstając w obszarach podwyższonych naprężeń, powinny charakteryzować się wyższym naprężeniem pozornym (apparent stress). Obserwacja Autorki, wskazująca na inne zależności, stanowi rzeczywisty wkład w zrozumienie mechanizmów sejsmiczności indukowanej.

Drobiazgowo przeprowadzona analiza stosunku energii fali S do fali P wskazuje na większy udział energii fali P w przypadku wstrząsów występujących w momencie detonacji oraz bezpośrednio po niej, co jest zgodne z fizyczną intuicją.

Rozdział zawierający dyskusję wyników wykazuje innowacyjne podejście oraz potencjał Autorki do prowadzenia samodzielnych badań naukowych. Wartość poznawcza uzyskanych rezultatów oraz ich rzetelna interpretacja zasługują na wysokie uznanie.

Krytyczne uwagi dotyczące pracy.

Trudno jest znaleźć uchybienia, które podważyłyby wartość naukową rozprawy, jednakże kilka kwestii budzi pewne wątpliwości lub niedosyt.

Analiza danych syntetycznych wykazała, że wstrząsy występujące na obrzeżach obszaru wydobywczego są narażone na większe błędy inwersji. Uważam, że analiza ta byłaby

cenniejsza, gdyby została wzbogacona o zdefiniowanie parametrów geometrycznych sieci niezbędnych do poprawnej interpretacji wiarygodności źródła (np. określenie dopuszczalnej lokalizacji wstrząsu względem środka ciężkości sieci). Użyteczne byłoby doprecyzowanie terminu „na obrzeżach obszaru wydobywczego”.

Brakuje również informacji na temat stabilności inwersji tensora momentu, np. poprzez analizę współczynnika uwarunkowania (condition number) macierzy inwersji. Odczuwam także brak pogłębionej dyskusji na temat dokładności wyznaczania głębokości źródła. Autorka, stosując zaawansowaną inwersję pełnego pola falowego, uzyskała unikalną wiedzę o głębokościach w zależności od przyjętego modelu tensora, jednak informacja ta nie została w pełni wyeksplorowana w końcowych wnioskach.

W części dotyczącej modelowania z użyciem funkcji Greena, Autorka konsekwentnie stosuje model źródła punktowego. Uważam jednak, że przy modelowaniu całego sejsmogramu korzystne byłoby uwzględnienie skończonych rozmiarów źródła poprzez zastosowanie funkcji czasu trwania (source time function), zwłaszcza że Autorka sama wykazała mierzalność tych rozmiarów poprzez analizę częstotliwości narożnych.

Moje uwagi krytyczne nie mają na celu umniejszenia osiągnięć naukowych przedstawionych w pracy, lecz mogą zostać wykorzystane przez Autorkę w dalszym rozwoju jej kariery naukowej w dziedzinie sejsmologii.

Rekomendacja

Moim zdaniem rozprawa doktorska mgr Alicji Caputy spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej, a więc zasługuje na publiczną obronę w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.).

W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk z wnioskiem o umożliwienie mgr Alicji Capucie kontynuowania postępowania kwalifikacyjnego w sprawie nadania stopnia doktora.

Z wyrazami szacunku,



dr hab. Artur Cichowicz

Warszawa, 19.01.2026 r

e-mail: artur@cichowicz.com