

Prof. dr hab. inż. Zbigniew ZEMBATY,

Opole, 3 luty, 2026

e-mail: z.zembaty@po.edu.pl,

url.: www.z.zembaty.po.opole.pl

Politechnika Opolska

ul. Prószkowska 76

45-758 Opole

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Alicji CAPUTA:

Analiza wpływu aktywnej profilaktyki tąpniowej na źródła wstrząsów indukowanych działalnością górniczą

1. Podstawa recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, pismem zastępcy Dyrektora ds. Naukowych dr hab. Rafała Junosza-Szaniawskiego z dnia 3 grudnia 2026.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa ma postać raportu liczącego 165 stron i obejmującego siedem rozdziałów, spis literatury, rysunków i tabel oraz dwa załączniki.

Głównym przedmiotem rozprawy jest sprawdzanie hipotezy, że detonacje ładunków wybuchowych realizowane w ramach profilaktyki tąpniowej jak i eksploatacji złoża, mogą być odzwierciedlone w charakterystykach źródeł wstrząsów występujących w ich następstwie.

3. Treść rozprawy

Po wstępie i określeniu celu pracy, w rozdziale trzecim ogólnie scharakteryzowano problematykę monitoringu dla górnictwa podziemnego oraz opisano specyficzne problemy monitorowania sejsmiczności indukowanej odniesione do kopalni ZG Rudna.

W rozdziale czwartym przedstawiono ogólne zagadnienie inwersji zapisów sejsmicznych i wyznaczania mechanizmów ogniskowych wstrząsów dwiema metodami, inwersji pełnego pola falowego oraz metodą inwersji pierwszych wstąpień fali P które zastosowano w dalszych badaniach.

Rozdział piąty przedstawia badania tzw. danych syntetycznych, przeprowadzone na grupie 425 źródeł sejsmicznych jako efekty inwersji pełnego pola falowego oraz uzyskane stosując inwersję pierwszych wstąpień fali P.

Rozdział szósty zawiera szczegółowe analizy rzeczywistych zapisów zarejestrowanych przez “dołową” sieć monitoringu sejsmicznego ZG Rudna, z podziałem na wstrząsy rejestrowane w czasie wyczekiwania po detonacjach ładunków wybuchowych, czyli uznawane za zjawiska prowokowane oraz wstrząsy występujące samoistnie. W rozdziale tym przeprowadzono ewaluację parametrów źródłowych otrzymanych na podstawie analiz spektralnych.

W rozdziale siódmym zamieszczono podsumowanie i wnioski. Rozprawa zawiera także wyczerpującą bibliografię, spis symboli, skrótów, tabel i rysunków, a także dwa załączniki.

4. Uwagi ogólne na temat pracy i jej walorów w odniesieniu do sejsmologii zjawisk indukowanych oraz ich profilaktyki

Analiza zjawisk indukowanych działalnością górniczą Człowieka wpisuje się w szerszą problematykę tzw. „*triggered seismicity*” która od czasu znanego trzęsienia ziemi w Indiach z 10 grudnia 1967 roku (Koyna Dam) lub sejsmicznej aktywności kojarzonej z polem geotermalnym Geysers w Kaliforni, przyciąga wzmożoną uwagę geofizyków i inżynierów. W ostatnich latach do problematyki tej dołączyła aktywna działalność wydobywcza ropy i gazu łupkowego oraz coraz szersza eksploatacja wód geotermalnych nie zawsze z sukcesem (por. np. tzw. „*Basel Project*”) i wstrzykiwanie płynów pod powierzchnię ziemi. W krajach, w których nie uwzględnia się obciążeń sejsmicznych w projektowaniu budowli problem ten ma praktyczne znaczenie jedynie ze względu bezpieczeństwa prac górniczych i ochrony powierzchni. Jednak w krajach aktywnych sejsmicznie jak Włochy, Chiny, Indie a nawet Szwajcaria problematyka ta ma także intrygujący aspekt ewentualnego związku między działalnością przedsiębiorcy górniczego a ewentualnym silnym trzęsieniem ziemi indukowanym na uskoku wcześniej niż można by tego oczekiwać od naturalnej sejsmiczności. Przykładowym zjawiskiem, dla którego początkowo pojawiły się wątpliwości odnośnie jego ew. pochodzenia było podwójne trzęsienie ziemi z 2012 roku w Emilia-Romagna we Włoszech.

Powyższe wskazuje na szczególnie interesujący od strony badawczej problem identyfikacji różnic zjawisk sejsmicznych prowokowanych przez detonacje od zjawisk sejsmicznych samoistnych z punktu widzenia mechanizmu ogniskowego lub parametrów spektralnych sejsmogramów. A badanie tych różnic jest jednym z głównych celów badawczych Rozprawy, choć w tym wypadku chodzi raczej poprawę bezpieczeństwa eksploatacji. Trochę szkoda, że w Rozprawie nie poddano szczególnej analizie wpływu czasu między milisekundową sekwencją eksplozji a wysokoenergetycznym wstrząsem, ograniczając się do rozróżnienia między wstrząsami dla których efekty eksplozji splecione były z indukowanym zjawiskiem oraz tych które były opóźnione. Tym nie mniej podjęcie zaawansowanych analiz dot. zadań odwrotnych

ze szczególnym wskazaniem na problematykę wstrząsów prowokowanych (*triggered*) uznać można za bardzo dobry wybór badawczy, szczególnie gdy stosuje się tak zaawansowany aparat analiz numerycznych jaki zastosowano w Rozprawie. Piszący te słowa z przyjemnością odświeżył sobie czytana niegdyś monografię Aki, Richardsa, *Quantitative Seismology*. Było to tym bardziej korzystne, że w rozdziale czwartym Doktorantka opisała odpowiednie fragmenty metodologii inwersji w sposób klarowny, zwięzły choć wyczerpujący.

Należy uznać, że podjęta tematyka ma zarówno walor oryginalności tematycznej jak i bardzo praktyczne zastosowanie w pogłębianiu rozumienia trudnych zjawisk sejsmiczności indukowanej głęboką eksploatacją podziemną tak charakterystyczną na naszego kraju. Podjęty kierunek badawczy wróży dalsze potencjalnie ciekawe obszary badawcze dotyczące zagadnień gdzie współlistnieją intensywne, naturalnych efekty sejsmiczne i eksploatacja górnicza, o czym napisano na początku tego rozdziału.

5. Ocena rozprawy

Niewątpliwie przygotowując i pisząc rozprawę Autorka napracowała się solidnie, opanowując trudny warsztat inwersji pola falowego sejsmiczności indukowanej tak w wersji syntetycznej jak i dla konkretnych zapisów dołowej sieci sejsmicznej kopalni Rudna w LGOM. Analizy te poprzedziła skrupulatnym wskazaniem na zalety i wady tej sieci. Swoje zaawansowane prace numeryczne zaopatrzyła w rozbudowane analizy błędów.

Po dobrym przygotowaniu warsztatu badawczego co opisane zostało w rozdziale piątym dotyczącym testów syntetycznych, w kolejnym rozdziale przeprowadziła obszerną analizę źródeł sejsmicznych dla realnych zapisów z terenu górniczego ZG Rudna. Szczegółowych siedem wniosków z rozdziału siódmego o różnej wadze oryginalności stanowi cenny materiał zarówno do dalszych badań jak do poprawy efektywności profilaktyki tąpniowej.

Uznać można, że postawiona na początku hipoteza badawcza o związku możliwości odzwierciedlenia wstrząsów indukowanych w charakterystyce źródła wysokoenergetycznych wstrząsów została w sposób wystarczający wykazana w toku Rozprawy. Co więcej, zdaniem Recenzenta problematyka badawcza Rozprawy ma bardzo dobre perspektywy kontynuowania zadań odwrotnych w niebanalnym kierunku identyfikowania różnic sejsmiczności naturalnej i indukowanej.

6. Szczegółowe uwagi krytyczne

- (i) Zdaniem Recenzenta tytuł Rozprawy brzmiałby logiczniej, gdyby dodać do niego jedno słowo – „parametry” to jest: *Analiza wpływu aktywnej profilaktyki*

tąpaniowej na parametry źródła wstrząsów indukowanych działalnością górnictw

(ii) W rozdziale 3.4 zatytułowanym „*Profilaktyka tąpaniowa ZG Rudna*” i poświęconym wstępnym wiadomościom, brak choćby jednej, krótkiej wzmianki o ochronie powierzchni, tak ważnym elemencie owej profilaktyki i pociągającym znaczne wydatki ze strony KGHM.

(iii) Cytat ze str. 14:

(...) Dodatkowymi aspektami utrudniającymi rzetelną i jednoznaczną analizę zarejestrowanych sejsmogramów w warunkach polskich złóż miedzi, które nie zostały wymienione w Rozdziale 3.2. są:

- skomplikowany model sejsmologiczny determinowany przez lokalne warunki geologiczne złoża, (...)

- tzw. clipping czyli przesterowanie sejsmogramów rejestrowanych przez najbliższe stacje w przypadku silniejszych wstrząsów (...)

Trudno zgodzić się z zaliczaniem nieprawidłowo dostrojonej aparatury do elementów komplikacji problemu sejsmiczności indukowanej w LGOM. Zdaniem piszącego te słowa „dołowe” zestawy pomiarowe powinny być wzbogacone o specjalne czujniki z rozszerzonym zakresem pomiarowym. Takie dodatkowe czujniki umieszczone w istniejących zestawach pomiarowych bardzo niewiele podniosłyby koszt sieci sejsmicznej, a potencjalnie przyniosłyby bardzo cenne naukowo informacje. Można tu dodać, że problem nieprawidłowo ustawionych zakresów pomiarowych pojawił się także dla sieci powierzchniowej przy okazji silnego wstrząsu z 20 II 2002 roku a podczas silnego wstrząsu jaki wystąpił cztery lata później to jest 21 maja 2006 roku zakresy czujników powierzchniowych były już poprawnie ustawione

(iv) Jakkolwiek Autorka z pewnością musiała przygotować streszczenia w języku polskim i angielskim dla potrzeb formalnego procedowania prac związanych z Rozprawą i jej obroną, to jednak niezamieszczenie streszczeń w treści PDF Rozprawy uznać można za niedopatrzenie.

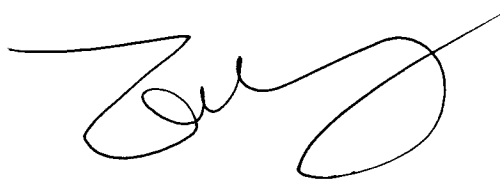
(v) Mimo dużej zawartości złożonych opisów matematycznych, Rozprawa jest napisana bardzo dobrym i komunikatywnym językiem. Recenzent znalazł jedynie kilka drobnych usterek językowych i edytorskich których jednak nie ma potrzeby przytaczać w tym miejscu, gdyż nie prowadziły one do żadnych nieporozumień.

8. Wnioski i końcowa ocena pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr Alicji CAPUTA jest starannie napisana i sprawia na czytającym bardzo pozytywne wrażenie. Autorka podjęła się analizy jednego z najtrudniejszych tematów sejsmologii i przy dużym nakładzie pracy przygotowawczej oraz przy przetwarzaniu dużych zbiorów danych otrzymała niebanalne rozwiązania konkretnych problemów inwersji pola falowego dla indukowanej sejsmiczności.

Rozprawa zawiera niebanalne, oryginalne wyniki zestawione w postaci siedmiu szczegółowych wniosków rozdziału siódmego Rozprawy. Biorąc powyższe pod uwagę uznać można, że spełnia ona wymagania obowiązującej Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U.2018 poz. 1668) z dnia 20 lipca 2018r. z późniejszymi zmianami i może być podstawą nadania Autorce stopnia naukowego doktora nauk ścisłych i przyrodniczych. Wnoszę o przyjęcie Rozprawy i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

Biorąc także pod uwagę szczególnie obszerny zakres Rozprawy, stopień opanowania warsztatu naukowego jak i uznania godną komunikatywność Rozprawy spełnia ona, zdaniem Recenzenta, warunki dla jej wyróżnienia, jednak ostateczną decyzję w tej sprawie Recenzent podejmie po wysłuchaniu jej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.