

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. Dariusza Nawrockiego
p.t.: „Związki widma H/V drgań skrętnych i translacyjnych
z przypowierzchniowymi warunkami geologicznymi”

Podstawa prawna wykonania recenzji: Uchwała Nr 52/2025 Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 8.04.2025 r. powołująca recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. Dariusza Nawrockiego.

1. Ogólna charakterystyka, tematyka rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się z 15 rozdziałów, poprzedzonych stroną tytułową oraz spisem treści. Została ona napisana w oparciu o trzy publikacje, w których mgr Dariusz Nawrocki jest pierwszym autorem. Są to następujące, powiązane tematycznie artykuły, opublikowane w wysokopunktowanych czasopismach naukowych, z których dwa posiadają IF – odpowiednio 2,5 i 2:

1. Nawrocki, D., Mendecki, M. J., Mutke, G., & Teper, L. (2025). Influence of Site Effects on Scaling Relation Between Rotational and Translational Signals Produced by Anthropogenic Seismicity. *Applied Sciences*, 15(1), 102. <https://doi.org/10.3390/app15010102>.
2. Nawrocki, D., Mendecki, M. J., & Teper, L. (2024). Estimation of the resonance frequency of rotational and translational signals evoked by mining-induced seismicity. *Frontiers in Earth Science*, 12, <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1403043>.
3. Nawrocki, D., Mendecki, M. J., & Teper, L. (2024). The effects of component rotation H/V spectra: a comparison of rotational and translational data, *Geology, Geophysics and Environment*, 50(2), <https://doi.org/10.7494/geol.2024.50.2.145>.

Taki tryb przygotowania rozprawy jest dopuszczalny, zgodnie z *Art. 187 ust. 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*:

Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca

projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.

Wprawdzie powyższe artykuły są pracami wieloautorskimi, ale wkład Doktoranta w ich powstanie został potwierdzony stosownymi oświadczeniami wszystkich autorów, zamieszczonymi w rozprawie. W mojej ocenie jest on istotny, upoważniający do oparcia na tych publikacjach rozprawy doktorskiej. Zgodnie z tymi oświadczeniami w przedmiotowych publikacjach kandydat zrealizował następujące zadania:

Publikacja 1. Estymacja krzywych amplifikacji H/V oraz wartości parametrów funkcji relacji skalowania, opracowanie wizualizacji graficznych, napisanie tekstu manuskryptu (rozdziały: Wstęp, Metodyka, Wyniki, Dyskusja i Podsumowanie).

Publikacja 2. Estymacja krzywych amplifikacji H/V dwoma metodami, opracowanie wizualizacji graficznych, napisanie tekstu manuskryptu (rozdziały: Wstęp, Metodyka, Wyniki, Dyskusja i Podsumowanie).

Publikacja 3. Wyznaczenie sygnałów drgań skrętnych i translacyjnych wskutek rotacji układu współrzędnych oraz estymacja spektrum H/V, opracowanie wizualizacji graficznych, napisanie tekstu manuskryptu (rozdziały: Wstęp, Metodyka, Wyniki, Dyskusja i Podsumowanie).

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Lesław Teper, promotorem pomocniczym dr hab. Maciej Mendecki, prof. UŚ.

Tematyka rozprawy dotyczy problemu analizy związków widma H/V drgań skrętnych i translacyjnych z przypowierzchniowymi warunkami geologicznymi. Zagadnienie to, szczególnie w odniesieniu do drgań skrętnych, nie było dotychczas szeroko poruszane w literaturze, stąd na podkreślenie zasługuje duża wartość poznawcza przeprowadzonych badań związanych z eksploracją efektów lokalnych drgań skrętnych i ich porównanie z efektami lokalnymi drgań translacyjnych.

Rezultaty przeprowadzonych przez Doktoranta badań mają także duże znaczenie aplikacyjne. Praktycznie każda ingerencja człowieka w skorupę ziemską prowadzi do powstania sejsmiczności indukowanej. Jako przykłady można tu wymienić: spiętrzanie wody w sztucznych zbiornikach, eksploatację surowców mineralnych, geotermię, zatłaczanie zanieczyszczonych wód do otworów wiertniczych, sekwestrację dwutlenku węgla, magazynowanie węglowodorów, drążenie tuneli, posadawianie dużych obiektów budowlanych i.in. Wystąpienie sejsmiczności indukowanej na danym obszarze powoduje m.in. konieczność opracowywania prognoz wielkości drgań powierzchni terenu, jakie mogą być nią wywoływane. Realizacja tego zadania

wymaga rozpoznania efektów lokalnych w przedmiotowym rejonie. Rezultaty recenzowanej rozprawy mogą zwiększyć dokładność oszacowań wartości współczynnika amplifikacji, co bezpośrednio przekłada się na wiarygodność prognoz.

W świetle powyższych uwag, podjęcie przez Autora rozprawy tematyki związanej z przeanalizowaniem związków widma H/V drgań skrętnych i translacyjnych z przypowierzchniowymi warunkami geologicznymi, porównaniem dwóch sposobów estymacji spektrum (Fouriera i odpowiedzi), a także efektów kierunkowych w zjawisku amplifikacji, uważam za celowe, biorąc pod uwagę zarówno względy poznawcze jak i aplikacyjne.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy doktorskiej

Pierwsze dwa rozdziały rozprawy zawierają jej obszerne streszczenia w języku angielskim i polskim. W trzecim rozdziale zostały podane publikacje w oparciu o które została przygotowana rozprawa. Kolejny, czwarty rozdział, zawiera wykaz innych publikacji oraz prezentacji związanych z tematyką dysertacji. Większość z nich jest pracami wieloautorskimi, natomiast podkreślić należy, że we wszystkich pracach zbiorowych Doktorant jest pierwszym autorem.

Rozdział piąty zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki rozprawy.

W rozdziale szóstym przedstawione zostały cele i tezy pracy.

Autor sformułował sześć celów pracy. Ich istotą było sprawdzenie, czy:

1. *wartości parametrów efektów lokalnych osiągają zbliżone wartości niezależnie od analizowanego typu drgań,*
2. *korekta szczytowych wartości amplitud drgań o wartość amplifikacji skutkuje poprawieniem poziomu dopasowania danych do modelu jak i zmianą wartości jego parametrów,*
3. *wyznaczone relacje skalowania dla drgań skorygowanych o wartość amplifikacji są zbieżne dla dwóch różnych stanowisk,*
4. *warunki posadowienia czujników wpływają na otrzymywane krzywe amplifikacji,*
5. *sposób estymacji spektrum H/V wpływa podobnie na otrzymywane krzywe amplifikacji niezależnie od analizowanego typu drgań,*
6. *określone warunki geologiczne wykazują skłonność do generacji różnej wartości parametrów efektu lokalnego dla drgań skrętnych i translacyjnych,*

7. obecność lokalnej anizotropii przypowierzchniowych warstw geologicznych generuje zbieżną kierunkowość spektrum H/V, niezależnie od analizowanego typu drgań.

Tezy pracy zostały sformułowane następująco:

- 1. Drgania skrętne ulegają zjawisku amplifikacji jak i rezonansu.*
- 2. Parametry efektów lokalnych osiągają różne wartości, które zależą od typu drgania.*
- 3. Efekty lokalne drgań skrętnych i translacyjnych pochodzą od struktur skalnych zalegających na różnej głębokości.*

Biorąc pod uwagę całość rozważań zamieszczonych w rozprawie można stwierdzić, że powyższe cele udało się autorowi rozprawy osiągnąć, a tezy udowodnić.

Siódmy rozdział rozprawy został poświęcony drganiom skrętnym. Autor omówił historyczne obserwacje skutków wystąpienia drgań skrętnych w obiektach budowlanych, mechanizm generowania drgań skrętnych w źródle wstrząsu, dotychczasowe rejestracje drgań skrętnych, a także podstawowe zagadnienia dotyczące relacji skalowania.

W ósmym rozdziale Doktorant obszernie omówił zjawisko efektu lokalnego, prezentując w kolejnych podrozdziałach: metodę H/V, estymację H/V dla zrotowanych składowych poziomych, stosunek H/V dla drgań skrętnych, spektra Fouriera oraz odpowiedzi.

Rozdział dziewiąty zawiera charakterystykę obszaru badań, którym były wybrane rejony Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przedstawione zostały: budowa geologiczna oraz sejsmiczność GZW. W rozdziale tym zostały również podane informacje dotyczące lokalizacji stanowisk sejsmicznych wykorzystanych do realizacji pomiarów, których wyniki zostały wykorzystane w pracy, a także, bardzo ogólnie, dane dotyczące budowy geologicznej w miejscach posadowienia stacji.

Pomiary wykonano na 4 stanowiskach:

- PLA – w podziemiach Planetarium Śląskiego w Chorzowie – 70 rejestracji drgań wywołanych wstrząsami, których magnituda lokalna wyniosła $M_L 2,4 \div 3,5$ natomiast odległość epicentralna R_{epic} zmieniała się od 5,7 km do 20,4 km.
- IMI – na terenie chronionym zapory zbiornika Dzieńkowice w Chełmie Śląskim – 60 rejestracji zjawisk, $M_L 1,7 \div 2,7$, $R_{epic} 0,65 \text{ km} \div 5,52 \text{ km}$.
- ZIE – w budynku ochrony zapory zbiornika Dzieńkowice w Chełmie Śląskim (w odległości 5 m od stanowiska IMI) – 45 rejestracji zjawisk, $M_L 1,7 \div 2,7$, $R_{epic} 0,65 \text{ km} \div 5,52 \text{ km}$.

- JAN – w Żarkach koło Libiąża – 45 rejestracji zjawisk, M_L 2,2 ÷ 3,4, R_{epic} 0,50 km ÷ 30,00 km.

Pomiary drgań translacyjnych prowadzone były z wykorzystaniem trójskładowych akcelerometrów EA-120, natomiast drgań skrętnych z wykorzystaniem sejsmometru rotacyjnego R-2 (stanowisko JAN) oraz sejsmometrów rotacyjnych R-1 w przypadku pozostałych stanowisk. Do akwizycji danych pomiarowych wykorzystywane były 12-kanalowe rejestratory DR-4000 wyposażone w przetwornik 24-bitowy.

W rozdziale 10 przedstawione zostały wyniki przeprowadzonych badań. Rozważania zostały ujęte w trzech podrozdziałach, odpowiadających artykułom będącym podstawą rozprawy.

W pierwszym z nich przedstawiono rezultaty estymacji stosunku H/V dla drgań skrętnych i analizy wpływu wartości amplifikacji na relację skalowania. Badania te umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- obecność nieciągłości geologicznych może skutkować osiągnięciem wyższych częstotliwości rezonansowych przez drgania skrętne,
- relacje skalowania wykazują lepsze dopasowanie w przypadku uwzględnienia amplifikacji,
- uwzględnienie amplifikacji skutkuje obniżeniem wartości prędkości fazowej fal SH.

W drugim podrozdziale przedstawiono wyniki analizy porównawczej wpływu wybranej metody spektralnej na estymację krzywej H/V. Rezultaty powyższej analizy umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- zastosowanie metody spektrum odpowiedzi pozwala wyznaczyć mniejszą liczbę ekstremów amplifikacji niż w przypadku metody spektrum Fouriera,
- wartości amplifikacji wyznaczone metodą spektrum odpowiedzi są mniejsze od tych wyznaczonych metodą spektrum Fouriera,
- w pewnych warunkach (stanowisko ZIE) nie jest możliwe wyznaczenie spektrum H/V drgań skrętnych.

W trzecim podrozdziale przedstawiono wyniki badań wpływu rotacji sygnałów horyzontalnych na estymowane spektrum H/V. Badania te umożliwiły sformułowanie następujących wniosków (dla zgromadzonego materiału obserwacyjnego):

- dominująca amplifikacja drgań translacyjnych jest zależna m.in. od lokalnej anizotropii ośrodka,
- dominująca amplifikacja drgań skrętnych jest niezależna od lokalnej anizotropii ośrodka,

- dominująca amplifikacja drgań translacyjnych jest skorelowana z III pikiem amplifikacji drgań skrętnych.

W rozdziale 11. przedstawione zostało podsumowanie przeprowadzonych badań. Stwierdzenia zawarte w tym rozdziale są poprawnie sformułowane, wynikają z rozważań zaprezentowanych w rozprawie.

Dwunasty rozdział zawiera obszerny, liczący 95 pozycji, spis literatury. W rozdziale 13. podano spis rysunków.

Artykuły tworzące rozprawę doktorską zamieszczono w rozdziale 14., natomiast określenie wkładu w powstawanie publikacji – w rozdziale 15.

Podsumowując merytoryczną charakterystykę rozprawy, chciałbym podkreślić, że Autor omówił wyczerpująco wszystkie istotne zagadnienia, a zarazem udało mu się uniknąć przeładowania treści zbędnymi szczegółami, które są dostępne w literaturze. Również redakcja pracy jest na bardzo dobrym poziomie.

Powyższa analiza treści rozprawy pozwala stwierdzić, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant posiada szeroką wiedzę teoretyczną dotyczącą podjętej problematyki oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej i prezentowania jej rezultatów w zakresie dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku.

3. Uwagi i komentarze

Oceniając treść rozprawy mgr. Dariusza Nawrockiego nie odnoszę się szczegółowo do artykułów naukowych, które stanowią jej podstawę. Zostały one bowiem poddane procesowi recenzowania przed przyjęciem do publikacji.

Tym niemniej, podczas lektury recenzowanej rozprawy nasunęło mi się kilka pytań i uwag.

1. We wstępie Autor, powołując się na pracę K. Stec z 2006 roku, stwierdza, że większość zarejestrowanych wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictw w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego charakteryzuje się mechanizmem podwójnej pary sił. Jest to istotne ze względu na prowadzone przez Niego analizy. W związku z tym mam pytanie, czy dla zjawisk uwzględnionych w badaniach określono ich mechanizm? W przypadku rejestracji na stanowisku IMI większość wstrząsów (35 z 60) charakteryzowało się energią sejsmiczną z przedziału $1 \times 10^5 \text{ J}$ ÷ $5 \times 10^5 \text{ J}$. Wstrząsy o takich energiach mogą mieć źródło w eksploatowanych, grubych pokładach węgla – w przypadku takich zjawisk może dominować składowa eksplozyjna. Ponadto, wydaje się, że nastąpiła pomyłka w roku publikacji K. Stec.

2. Na stronie 48 Autor stwierdza, że: „Wyjaśnienie niniejszej obserwacji wiąże się z obecnością zwierciadła wód podziemnych jak i kompleksu spękań, które wpływają na płytsze zaleganie warstw skalnych odpowiadających za rezonans drgań skrętnych”. Biorąc pod uwagę często stwierdzane znaczne zróżnicowanie budowy geologicznej na niewielkich obszarach powstaje pytanie, czy Doktorant dysponował dokładnymi danymi dotyczącymi warunków geologicznych w rejonie stanowisk, czy korzystał jedynie z ogólnych opracowań wymienionych w treści rozprawy?
3. Na stronie 49 Autor stwierdził, że: *model, który nie uwzględnia niezerowej wartości parametru b wykazuje lepsze dopasowanie modelu względem wartości obserwowanych*. Zalecałbym dużą ostrożność w pomijaniu wyrazu wolnego w modelu regresji. Usunięcie wyrazu wolnego z modelu regresji liniowej może poważnie zaburzyć interpretację oraz wyznaczaną wartość współczynnika determinacji R^2 . W wielu pakietach wykorzystywanych do obliczeń statystycznych większa wartość R^2 w modelu bez wyrazu wolnego nie oznacza lepszego dopasowania, ale wynika ze zmienionej definicji miary SST (suma kwadratów obliczana jest względem zera zamiast względem średniej wartości zmiennej objaśnianej).
4. Czy korzystając z doświadczeń uzyskanych podczas prowadzenia pomiarów, Doktorant mógłby sformułować warunki (sposób montażu sejsmometrów), jakie powinny być spełnione, by możliwe było poprawne obserwowanie zarówno drgań translacyjnych jak i skrętnych?
5. Uważam, że w zależności 7.4.6 na stronie 27 powinno się uwzględniać obliczanie pierwiastka kwadratowego z sum kwadratów poziomych składowych przyspieszeń w kolejnych przedziałach czasu.
6. Numeracja wzorów w opisie zamieszczonym na stronie 36 wymaga skorygowania.
7. W trakcie dalszych prac warto byłoby przeprowadzić analogiczne badania w rejonie kopalń rud miedzi w LGOM. Pozwoliłoby to sprawdzić, czy możliwe jest uogólnienie otrzymanych wyników na obszary charakteryzujące się zasadniczo odmiennymi warunkami geologicznymi.
8. Wprawdzie praca została bardzo dobrze zredagowana, tym niemniej Doktorant nie ustrzegł się przed popełnieniem (nielicznych) błędów literowych, stylistycznych oraz użyciem żargonowych lub budzących wątpliwości określeń i stwierdzeń. Powyższe usterki nie mają oczywiście wpływu na merytoryczną ocenę pracy.

Podczas publicznej obrony pracy proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do pierwszych czterech uwag. Pozostałe mogą być wykorzystane podczas prowadzenia dalszych badań.

Pragnę podkreślić, że bardzo wysoko oceniam merytoryczny poziom recenzowanej rozprawy. Sformułowane uwagi nie zmieniają tej wysokiej oceny. W oparciu o analizę przedłożonej pracy stwierdzam, że Doktorant rzetelnie wykonał zaplanowany przez siebie zakres badań i analiz. Umożliwiło to zrealizowanie założonych celów i udowodnienie tez pracy. Treść rozprawy świadczy o jego bardzo dobrej znajomości opisywanej problematyki.

Wniosek końcowy

W konkluzji wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. Dariusza Nawrockiego p.t. **„Związki widma H/V drgań skrętnych i translacyjnych z przypowierzchniowymi warunkami geologicznymi”** dotyczy dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku. Praca ma charakter poznawczy i użyteczny, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego sformułowanego w temacie rozprawy, potwierdza, że Autor posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w zakresie dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku.

Analizowana rozprawa doktorska spełnia wszelkie wymagania stawiane pracom doktorskim w *Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Na tej podstawie wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach o dopuszczenie jej do publicznej obrony.