

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny KWIETNIAK

pt. *„Spectral decomposition of a seismic signal: thin bed thickness estimation and analysis of attenuating zones”*

Rozprawa została wykonana na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie pod kierunkiem promotora Pana prof. dr hab. inż. Ryszarda Ślusarczyka i promotora pomocniczego Pana dr inż. Tomasza Maćkowskiego.

1. WPROWADZENIE

Recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Kwietniak wykonanej w języku angielskim pt. *„Spectral decomposition of a seismic signal: thin bed thickness estimation and analysis of attenuating zones”* (tytuł w języku polskim *„Dekompozycja spektralna sygnału sejsmicznego – estymacja miąższości cienkiej warstwy i analiza stref tłumienia”*, opracowałem na podstawie pisma Dziekana Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie prof. dr hab. inż. Adama Piestrzyńskiego z dnia 05.05.2016r. o znakach WGGIOŚ/212/2016.

Stwierdzam, że przedmiotowa rozprawa mieści się w dziedzinie nauk o Ziemi i w obszarze dyscypliny naukowej **geofizyka**.

Problem wymieniony w tytule rozprawy doktorskiej dotyczy zwiększenia efektywności sejsmicznego rozpoznania określonych struktur geologicznych, a w szczególności zawiera dwa istotne w tym zakresie elementy badawcze, a mianowicie:

- ocenę miąższości cienkiej warstwy w profilu sejsmogeologicznym z zastosowaniem algorytmów realizujących spektralną dekompozycję sygnału sejsmicznego,
- wykorzystanie powyższej dekompozycji spektralnej do analizy stref tłumienia wysokoczęstotliwościowych składowych sygnału sejsmicznego, tworzących tzw. strefę przejściową, która charakteryzuje się niewyraźną odpowiedzią sejsmiczną.

Doktorantka w przedmiotowej rozprawie poprzez zweryfikowanie dostępnych algorytmów dekompozycji spektralnej na bazie modelowych i rzeczywistych danych sejsmicznych zmierza do wykazania zarówno ich przydatności w badaniach sejsmicznych jak i do poprawy efektywności uzyskiwanych wyników w powyższym zakresie.

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem zgodnie z wymogami ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 03.65.595 z dnia 16 kwietnia 2003r.). Zgodnie z tą ustawą rozprawa doktorska powinna być oryginalnym rozwiązaniem przez Doktoranta określonego zaagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stąd metodologia oceny przyjęta w niniejszej recenzji koncentruje się na analizie następujących zagadnień:

- ocenie merytorycznej treści poszczególnych rozdziałów rozprawy,
- zasadności (teoretycznej i praktycznej) podjęcia przedmiotowego tematu rozprawy doktorskiej,
- prawidłowości sformułowania tezy rozprawy doktorskiej,
- ustaleniu jakie nowe zagadnienia naukowe Doktorantka rozwiązała samodzielnie,
- ocenie poprawności przeprowadzonych w rozprawie analiz uzyskanych wyników oraz sformułowanych na tej podstawie wniosków i stwierdzeń,
- ocenie znajomości przez Doktorantkę przedmiotu zagadnienia, specjalistycznej literatury, szczególnie aktualnej, jak i innych prac wchodzących w zakres tematyczny rozprawy doktorskiej.

2. ANALIZA I OCENA ROZPRAWY

Przedmiotowa rozprawa doktorska jest zwartym opracowaniem, w którym autorka podejmuje się rozwiązania ważnych problemów współczesnej sejsmiki poszukiwawczej z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi interpretacyjnych w postaci dekompozycji spektralnej danych sejsmicznych.

Zasadnicze treści rozprawy doktorskiej są opisane w ośmiu rozdziałach (strony 10 ÷ 135), które poprzedza spis treści oraz rodzaj wprowadzenia zawierającego motywację Doktorantki do podjęcia niniejszej rozprawy wraz ze zwięzłym opisem istoty treści poszczególnych rozdziałów. Ponadto, za inne ważne elementy w edycji rozprawy uważam:

- opis używanych w pracy symboli (str. 8-9), chociaż ich lista nie wyczerpuje wszystkich jakie występują w treści pracy,
- podanie zwięzłych definicji pojęć fizycznych (rozdział 9 – str. 136 -143),
- spis 66 rysunków znajdujących się w pracy,
- spis 4 załączników dotyczących rejonu badań sejsmicznych prezentowanych w pracy.

Osobną pozycją rozprawy doktorskiej jest wykorzystana w jej treściach bibliografia, która zawiera 49 pozycji, w większości angielskojęzycznych i w dużej mierze pochodzących z okresu ostatnich lat; co świadczy o aktualności problematyki badawczej prezentowanej w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Brak wśród nich publikacji autorki rozprawy doktorskiej.

Na str. 7 Doktorantka podaje główne tezy rozprawy doktorskiej, co uważam za niezbyt odpowiednie miejsce w strukturze rozprawy. Ich sformułowanie, moim zdaniem, powinno wynikać z identyfikacji pewnych obszarów niszowych stwierdzonych w rozpatrywanej problematyce, opartej na analizie stanu światowej wiedzy, co w praktyce Doktorantka czyni w pierwszych trzech rozdziałach pracy doktorskiej.

Poniżej została przedstawiona analiza poszczególnych rozdziałów rozprawy doktorskiej, z podkreśleniem najważniejszych rozwiązań i wyników uzyskanych w danym rozdziale.

W **rozdziale 1** została przedstawiona analiza ważnego problemu dotyczącego stabilności elementarnego sygnału sejsmicznego (wavelet), zwanego falką, w zakresie statystycznych i deterministycznych metod jego ekstrakcji, jak i narzędzi pomocnych w określeniu jego stabilności na podstawie danych sejsmicznych.

Z kolei w **rozdziale 2** analizowane są problemy dotyczące dekompozycji spektralnej w odniesieniu do konkretnego zadania, to jest do oceny miąższości warstw, a w szczególności warstwy cienkiej – o małej miąższości. Są one odniesione do różnych metod i modeli cienkich warstw oraz wykorzystania pewnych specyficznych atrybutów sejsmicznych. Uważam, że istotnym elementem badawczym tego rozdziału jest dokonana przez Doktorantkę weryfikacja metodologii stosowanej w tym zakresie i opisaną w literaturze (Partyka et al. 1999), której wyniki przedstawiono na rys. 2.2. Potwierdzają one, że w przypadku prostego modelu 2D zastosowanie techniki dyskretnej transformacji Fouriera (DFT) jest możliwe dla oceny miąższości cienkiej warstwy – rys. 2.3. W dalszej części rozdziału 2 Doktorantka analizuje inne modele cienkiej warstwy o różnym typie refleksyjności oraz inne algorytmy dla detekcji cienkiej warstwy.

Rozdział 3 zatytułowany „Interferencja” jest poświęcony analizie literaturowej wpływu strefy przejściowej - opisaną w postaci rampy Wolfa (strefa z liniową zmianą prędkości z głębokością i o stałej gęstości) - na selektywne tłumienie, zależne od częstotliwości sygnału sejsmicznego. Treści tego rozdziału pokazują, że dekompozycja spektralna może być tutaj efektywnym narzędziem dla rozszyfrowania informacji ukrytej przez szerokopasmową interferencję. Należy podkreślić, że Doktorantka poza prostym przypadkiem modelu jednowarstwowego zajmuje się również sytuacją bardziej skomplikowaną w postaci modelu wielowarstwowego z występowaniem wielu warstw przejściowych. Szczególnie interesujące są wnioski sformułowane na końcu tego rozdziału, które mogą być wykorzystane w praktycznych zastosowaniach procedur interpretacyjnych.

Rozdział 4 Doktorantka poświęca charakterystyce obszaru badań, który jest zlokalizowany w północnej Polsce w okolicach miejscowości Lubocin (rejon Wejherowa i Pucka). Na obszarze tym zostało wykonane zdjęcie sejsmiczne 3D, obejmujące powierzchnię 12,65 km² przez firmę PGNiG. Ponadto, wiele danych z tego rejonu pochodziło z kompleksowych badań prowadzonych w ramach projektu Blue Gas, który, między innymi, dotyczy rozpoznania struktur paleozoicznych pod kątem rozwoju i wdrożenia technologii pozyskiwania gazu z formacji łupkowej. Doktorantka wybrała jako najbardziej interesujące z punktu potencjalnych zbiorników gazu z łupków trzy horyzonty paleozoiczne, które charakteryzują się małymi miąższościami. Stanowiły one przedmiot Jej badań z zastosowaniem wypracowanej metodyki i istniejących algorytmów i oprogramowania.

Rozdział 5 zaliczam do ważnych w strukturze przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Doktorantka nie tylko opisuje istotę trzech wybranych metodyk dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego z punktu widzenia jakościowej i ilościowej oceny miąższości cienkiej warstwy, ale także formułuje konkretne etapy realizacji procesu dekompozycji spektralnej trasy sejsmicznej. Do wspomnianych metodyk dekompozycji należą: metoda SWDFT, to jest krótkiego okna czasowego w dyskretnej transformacji Fouriera, metoda ciągłej

transformacji falkowej (CWT – Continuous Wavelet Transformation) oraz metoda empirycznej dekompozycji modalnej (CEEMD – Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition). Doktorantka zwraca w tym rozdziale uwagę na istotność procesu doboru długości okna czasowego zastosowanego do analizy danych sejsmicznych.

Rozdział 6 stanowi kluczowy rozdział autorski Doktorantki, który przedstawia weryfikację opisanych w poprzednich rozdziałach metodyk i procedur dekompozycji spektralnej. Weryfikację tą Doktorantka prowadziła na utworzonych kilku modelach ośrodka geologicznego, który odzwierciedla układ warstw paleozoicznych ze wspomnianego rejonu Lubocino. Modele te splatano z sygnałami elementarnymi Rickera oraz sygnałami wyekstrahowanymi z wolumenu danych sejsmicznych 3D Lubocino, a następnie poddawano je procesowi dekompozycji spektralnej z wykorzystaniem specjalnych algorytmów realizujących szybką transformatę Fouriera FFT, ciągłą transformatę falkową (waveletu) CWT oraz ciągłą empiryczną dekompozycję modalną CEEMD. Jednym z wyników tych badań było określenie wartości takich atrybutów sejsmicznych jak częstotliwość dominująca i chwilowa. Uważam, że jednym z zagadnień, istotnych pod względem badawczym, analizowanych w tym rozdziale rozprawy doktorskiej jest testowanie i kalibracja parametrów dekompozycji spektralnej, którą Doktorantka przeprowadziła na wspomnianych danych modelowych oraz wybór zestawu metod dla estymacji miąższości czasowej cienkich warstw.

Rozdział 7 to kolejny ważny rozdział autorski, w którym zastały przedstawione w sposób syntetyczny wyniki zastosowania dekompozycji spektralnej danych sejsmicznych w aspekcie identyfikacji stref tłumienia (tzw. strefy przejściowej) oraz analizy miąższości pomiędzy dwoma horyzontami sejsmicznymi. Wyniki te oparte są na rzeczywistym materiale sejsmicznym pochodzącym z rejonu badań Lubocino. W zakresie wykrywania i identyfikacji stref przejściowych będących źródłem tłumienia sygnału sejsmicznego Doktorantka wykonała odpowiednio zaprojektowane badania obejmujące, między innymi, modelowania z wykorzystaniem dostępnego oprogramowania. Strefa przejściowa była w badanym przypadku łączona z formacją Pasłęka, którą stwierdzono w otworze Lubocino-1, należąca do interwału syluru dolnego (dane geofizyki wiertniczej pokazują liniową zmianę prędkości z głębokością, podobną jak to ma miejsce w modelu rampy Wolfa). Analiza wyników tych badań wskazywała na występowanie anomalii niskoczęstotliwościowej dla powyższego interwału, a zastosowanie metod dekompozycji spektralnej na rzeczywistych danych sejsmicznych 3D pozwoliło uzyskać satysfakcjonujące wyniki dla wszystkich wybranych metod dekompozycji. Najlepsze wyniki otrzymano dla dekompozycji wykorzystującej algorytm CEEMD, co pozwoliło na obliczenie mapy rozkładu miąższości czasowej niskoczęstotliwościowej anomalii sylurskiej w rejonie zdjęcia sejsmicznego Lubocino 3D. Potwierdza to postawioną tezę, że metoda dekompozycji spektralnej połączona z innymi atrybutami sejsmicznymi pozwala z powodzeniem identyfikować strefę przejściową dla rzeczywistych danych sejsmicznych. Ponieważ wyniki badań modelowych dla wielowarstwowego ośrodka geologicznego jednoznacznie pokazały, że estymacja ilościowa miąższości cienkich warstw z wykorzystaniem dekompozycji spektralnej nie jest możliwa.

Dla pokazania potencjalnych możliwości dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego Doktorantka w podrozdziale 7.2 zaprezentowała interesujący przypadek oceny miąższości warstwy zalegającej pomiędzy dwoma horyzontami sejsmicznymi OrV i O3 oraz identyfikacji nowej, dodatkowej granicy związanej z wyraźną anomalią wysokoczęstotliwościową.

Rozdział 8 zawiera dyskusję w zakresie uzyskanych wyników i formułuje końcowe wnioski, które, co należy podkreślić, wynikają z treści rozprawy i wspomnianej dyskusji. Stąd Doktorantka wyróżnia w tym rozdziale część poświęconą dyskusji i część dotyczącą wniosków. W części dyskusyjnej odnosi uzyskane wyniki w zakresie dekompozycji spektralnej do jej potencjalnych możliwości praktycznego zastosowania w geoinżynierii poszukiwawczej, a więc w wykrywaniu nowych złóż węglowodorów. Formułuje problemy związane z głównym nurtem rozprawy, które wymagają dalszych badań w celu ich poznania. Jeden z nich jest związany ze zjawiskiem zmiany częstotliwości sygnału sejsmicznego (tłumienie wysokich częstotliwości i tworzenie się niskoczęstotliwościowej anomalii) przez złożę nasyczone gazem. Drugi dotyczy identyfikacji mechanizmu powstawania strefy przejściowej, na przykładzie sylurskiej formacji z Pasłęka. Oceniam rozważania Doktorantki w tych kwestiach jako wyraźnie inspirujący głos w dyskusji nad dalszym ukierunkowaniem i rozwojem badań zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej. W części drugiej, dotyczącej wniosków, Doktorantka formułuje 13 wniosków, z których trzy ostatnie dotyczą jej ustosunkowania się do postawionych tez rozprawy. Praktycznie wszystkie pozostałe wnioski mają znaczenie zarówno poznawcze jak i użytkowe.

Ogólna ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Kwietniak jest **pozytywna** i uważam, że stanowi ona logiczną i spójną całość, konsekwentnie ukierunkowaną na rozwiązanie postawionego celu badawczego, który zawiera nowe elementy i jest problemem trudnym. Tym samym rozprawa w pełni potwierdza, że Doktorantka posiada umiejętność stawiania celów naukowych i odpowiedniego projektowania procesu badawczego dla ich rozwiązania. Oceniam przedmiotową rozprawę doktorską jako niezwykle wartościową pracę, którą stanowi cenny przyczynek dla rozwoju geofizyki poszukiwawczej. Analizując rozprawę mgr inż. Anny Kwietniak chcę, przede wszystkim, podkreślić olbrzymi nakład pracy jaki był związany praktycznie z wszystkimi etapami zrealizowanych badań, a w szczególności z procesem przetwarzania i interpretacji wyników.

Tym niemniej w trakcie analizy treści rozprawy nasunęły mi się pewne uwagi oraz pytania do Doktorantki, które podaję poniżej.

Uwagi i pytania

1. Pojęciem często używanym w treściach rozprawy doktorskiej jest „stabilność falki/waveletu”, ale nie znalazłem jego jasno sformułowanej definicji. Stąd prosba aby w czasie publicznej obrony Doktoranta odniosła się tej uwagi.
2. Zauważam, że w pracy Doktorantka w ogóle nie mówi o błędach jakie mogą wystąpić w procesie dekompozycji spektralnej prowadzonej na danych sejsmicznych w celu estymacji miąższości cienkich warstw. Jak Doktorantka widzi ten problem ?

3. OCENA SPEŁNIENIA WYMOGÓW STAWIANYM PRACOM DOKTORSKIM

3.1. Zasadność wyboru tematu rozprawy

Praca doktorska dotyczy metody sejsmicznej, będącej jedną z głównych metod geofizycznych stosowanych powszechnie w rozpoznaniu struktur geologicznych w aspekcie poszukiwania złóż surowców mineralnych, a w szczególności złóż węglowodorowych. Jak już wspomniano tematyka rozprawy ma na celu poprawę efektywności metody sejsmicznej przez zastosowanie dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego jako potencjalnego narzędzia dla bardziej szczegółowego poznania struktury interwału utworów dolnego paleozoiku w aspekcie pozyskiwania gazu z łupków. Temat ten jest częścią aktualnie realizowanego projektu strategicznego Blue Gas Polish Shale Gas finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, polskie firmy z branży ropy i gazu i Agencję Rozwoju Przemysłu. Powyższe ambitne cele jednoznacznie uzasadniają celowość podjęcia tematu tej pracy doktorskiej. Należy podkreślić, że praca ta stwarza szansę aby uzyskane w niej rozwiązania i wyniki mogły być przedmiotem zainteresowania firm geofizycznych i być wprowadzanymi do praktyki terenowej najpierw w skali doświadczalnej, a następnie w produkcyjnych pracach poszukiwawczych.

3.2. Ocena tezy rozprawy

Teza rozprawy podana na stronie 7 pracy doktorskiej składa się z trzech części, które moim zdaniem, są sformułowane prawidłowo i zawierają elementy, które Doktorantka analizowała w poszczególnych rozdziałach rozprawy, starając się potwierdzić ich słuszność. Ponadto, w podrozdziale 8.2 formułuje Ona własną ocenę zrealizowania postawionych hipotez badawczych, z którą recenzent zgadza się i przyjmuje iż tezy rozprawy zostały udowodnione.

Tym niemniej uważam, że lepszym rozwiązaniem w przypadku tej rozprawy doktorskiej byłoby sformułowanie tylko celu jej realizacji, który jest bardzo wyraźny oraz podkreślany w treściach i ma on następujące brzmienie „Celem rozprawy jest wykazanie potencjalnych możliwości dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego w rozwiązywaniu istotnych problemów interpretacyjnych jakie wystąpiły w procesie badania formacji sylurskiej pod kątem pozyskania gazu z łupków”.

3.3. Zagadnienia naukowe samodzielnie rozwiązane przez Doktorantkę

Dostrzegam w przedmiotowej rozprawie co najmniej kilka istotnych i moim zdaniem oryginalnych rozwiązań, którym można przypisać autorstwo Doktorantki. Do najważniejszych z nich zaliczam:

- opracowanie metodyki postępowania w zakresie zastosowania dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego, uwzględniającej dobór kluczowych parametrów, w odniesieniu do założonych celów, to jest oszacowanie miąższości cienkich warstw i identyfikacji stref tłumienia sygnału sejsmicznego,

- weryfikację praktycznej użyteczności wybranych algorytmów dekompozycji spektralnej w odniesieniu do danych modelowych i rzeczywistych,
- ustalenie, że w sytuacji wielowarstwowego ośrodka estymacja miąższości cienkich warstw z wykorzystaniem dekompozycji spektralnej jest niemożliwa,
- opracowanie sposobu interpretacji sejsmicznej dla identyfikacji interwału tzw. strefy przejściowej, tworzącej anomalię niskoczęstotliwościową i charakteryzującej się tłumieniem wysokich częstotliwości,
- ustalenie, że częstotliwość chwilowa może być atrybutem pomocnym w identyfikacji cienkich warstw jako nowych horyzontów sejsmicznych.

3.4. Ocena poprawności przeprowadzonych analiz i wyników oraz wniosków

Uważam, że wszystkie operacje związane z zastosowaniem odpowiednio dobranych algorytmów dekompozycji spektralnej sygnału sejsmicznego zostały wykonane prawidłowo, ze szczególnym zwróceniem uwagi na problemy natury technicznej i ograniczenia jakie mogą wystąpić w procesie interpretacji. Analizy prowadzone przez Doktorantkę wskazują na jej głęboką wiedzę z zakresu metody sejsmicznej, przetwarzania sygnałów sejsmicznych oraz zagadnień geologii złóż węglowodorów. Uzyskane wyniki są prawidłowe, a Doktorantka podchodzi do nich z określoną ostrożnością, szczególnie w zakresie formułowania zbyt optymistycznych wniosków. Wnioski podane w podrozdziale 8.2 uważam za prawidłowe i wynikające z treści rozprawy.

3.5. Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę

Doktorantka, mgr inż. Anna Kwietniak wykazała się pełną znajomością specjalistycznych zagadnień związanych z problemami badawczymi stanowiącymi istotę Jej rozprawy doktorskiej. Potwierdza to, między innymi wykaz cytowanych pozycji literatury fachowej, głównie zagranicznej, co świadczy, że Doktorantka dobrze się porusza w przedmiotowej tematyce, która wpisuje się w światowy nurt badań. Należy podkreślić, że sam przedmiot zagadnienia jakim się Ona zajmuje wymaga od Niej szerokiej wiedzy geofizycznej i geologicznej oraz innych specjalistycznych umiejętności. Wysoko oceniam Jej poglądy dotyczące bardziej głębokiego wniknięcia w naturę procesów mających miejsce w warstwach skalnych będących przedmiotem prowadzonych badań sejsmicznych. Oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę mgr inż. Annę Kwietniak jako bardzo dobrą.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej pt. *„Spectral decomposition of a seismic signal: thin bed thickness estimation and analysis of attenuating zones”* autorstwa Pani mgr inż. Anny Kwietniak stwierdzam, że :

- wykazuje Ona wysoki poziom wiedzy w zakresie dyscypliny geofizyka, a w szczególności w specjalności geofizyka poszukiwawcza,

- posiada dobre przygotowanie fizyczne i matematyczne dla rozwiązywania złożonych problemów naukowych, czego dowiodła w pełni w przedmiotowej rozprawie doktorskiej;
- posiada umiejętność samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz organizacji i prowadzenia procesu badawczego dla ich efektywnego rozwiązania wraz z analizą i prezentacją wyników;
- w pełni zrealizowała założone cele rozprawy, która posiada istotne walory naukowe i praktyczne.

Tak więc, rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Anny KWIETNIAK w pełni spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o dopuszczenie Pani mgr inż. **Anny KWIETNIAK** do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy.

