

dr hab. inż. Piotr Krzywiec, prof. nadzw. ING PAN
Instytut Nauk Geologicznych PAN
ul. Twarda 51/55
00-818 Warszawa
email: piotr.krzywiec@twarda.pan.pl

Warszawa, 2016/09/23

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pani mgr inż. Anny Kwietniak zatytułowanej
„Spectral decomposition of a seismic signal: thin bed thickness estimation
and analysis of attenuating zones”

Recenzowana praca doktorska została przygotowana na Wydziale Geologii, Geofizyki, i Ochrony Środowiska AGH pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Ryszarda Ślusarczyka i dr inż. Tomasza Maćkowskiego.

Praca doktorska P. Anny Kwietniak stanowi interesujące studium geofizyczne dotyczące problematyki detekcji i interpretacji tzw. warstw cienkich (ang. *thin bed*) za pomocą danych sejsmiki refleksyjnej. Autorka w swoich badaniach połączyła podejście teoretyczne oparte na modelowaniach sejsmicznych z analizami rzeczywistych danych sejsmiki refleksyjnej 3D.

Praca została napisana w całości po angielsku. Należy to docenić i pogratulować Doktorantce ogromu pracy, jaki bez wątpienia włożyła w napisanie swojej pracy po angielsku, myślę jednak, że było to troszeczkę przedwczesne. Angielszczyzna pozostawia bowiem miejscami dość dużo do życzenia – ja językiem angielskim w swojej pracy zawodowej posługuję się, tak czynnie jak i biernie, w zasadzie na codzień, i muszę przyznać, że nie byłam w stanie tak od razu zrozumieć wielu akapitów tej pracy. Przed ewentualnym opublikowaniem wybranych części doktoratu (a bez wątpienia warto to zrobić) konieczne będzie dość znaczne przeredagowanie i poprawienie tego tekstu – jako że każda krytyka powinna być konstruktywna to już teraz deklaruje pomoc w tym zakresie (o ile oczywiście P. Kwietniak zechce z mojej oferty skorzystać).

Recenzowana praca doktorska łącznie ze spisem literatury liczy 153 strony, do tego dołączono 4 załączniki. Składa się ona z 9 numerowanych rozdziałów oraz części nienumerowanych: wstępu, spisu symboli, podziękowań, spisu literatury, spisu figur i spisu załączników. Tego typu układ nie jest moim zdaniem najszcześniejszy – wszystkie rozdziały powinny być zostać ponumerowane, to jest bardziej naturalny układ, w wersji zastosowanej przez Autorkę nie wiadomo, czy części numerowane mają jakieś inne znaczenie niż te, które numerów nie mają etc.

Praca jest bogato ilustrowana, ogólny poziom edytorski jest wysoki. Przygotowane figury po niewielkich zmianach będą mogły zostać wykorzystane do ewentualnych publikacji.

Praca doktorska P. Kwietniak składa się z następujących części: **Introduction**, **Notation**, oraz numerowane rozdziały: **(1) Wavelet stability**, **(2) Spectral decomposition for thickness estimation**, **(3) Interference**, **(4) Geological setting**, **(5) Methodology**, **(6)**

Verification of the chosen methodology on model data, (7) Results, (8) Discussion and final conclusions, (9) Definitions.

W rozdziale zatytułowanym **Introduction** Doktorantka pokrótce omawia zagadnienie dekompozycji spektralnej oraz tzw. strefy przejściowej (ang. *transition zone*) i w tym kontekście omawia swoją motywację dla podjęcia takich badań. Podkreśla wagę wcześniejszych publikacji polskich naukowców w tym zakresie, jednak nie podaje żadnych odniesień literaturowych ani nawet nazwisk tych naukowców (te informacje pojawiają się w dalszej części rozprawy). Jest to tym bardziej zaskakujące, że Doktorantka jednocześnie zwraca się w tym miejscu z rekomendacją do polskich czytelników (w domyśle – jej doktoratu), żeby zapoznali się z tymi pracami co jednak trudno zrobić bez odpowiednich cytowań.

Po krótkim przedstawieniu swojej motywacji do podjęcia badań w tej dziedzinie P. Kwietniak prezentuje scenariusz swojej pracy doktorskiej, krótko omawiając zawartość i cel każdego z rozdziałów. Takie podejście pozwala czytelnikowi na szybkie ogarnięcie zawartości całego doktoratu i zrozumienie kontekst każdego z rozdziałów. Na końcu tej części doktoratu zamieszczone zostały 3 główne tezy, które w zamiarze Doktorantki miały zostać zweryfikowane jej badaniami:

1. że dekompozycja spektralna jest efektywnym narzędziem dla detekcji warstw cienkich oraz określania ich miąższości
2. że skorelowane wyniki dekompozycji spektralnej, analizy atrybutów sejsmicznych oraz analizy AVO pozwalają na detekcję stref tłumienia i stref nasycenia gazem
3. że dekompozycja spektralna pozwala na bardziej precyzyjną interpretację stratygraficzną i strukturalną danych sejsmicznych

Doktorantka założony cel w pełni osiągnęła, wszystkie te trzy zagadnienia szczegółowo w swojej pracy przeanalizowała i wyciągnęła odpowiednie wnioski.

W pierwszym z numerowanych rozdziałów (**1. Wavelet stability**) Doktorantka zawarła omówienie dwóch podstawowych metod określania sygnału sejsmicznego: metodę statystyczną oraz metodę deterministyczną oraz problemu jego stabilności. Omawiając metodę deterministyczną Doktorantka omówiła również metodykę konstrukcji sejsmogramów syntetycznych z wykorzystaniem danych otworowych.

Rozdział ten zaczyna się od zdania „*The success of applying SD for thickness estimation lays in the following statement: the difference in frequency response between a long-window and short-window amplitude spectrum is significant*”. Pokazuje to, że konstrukcja tej wstępnej części pracy nie jest optymalna – dla czytelnika nie w pełni zaznajomionego z problematyką dekompozycji spektralnej etc. takie stwierdzenie jest trochę na wyrost, ma bardzo duże znaczenie i powinno być uzasadnione a nie zaprezentowane tak trochę *ex cathedra*. Chyba lepiej było na początku dać rozdział omawiający samą dekompozycję spektralną (czyli w obecnym układzie rozdział 2), dzięki temu stworzony byłby od razu na samym początku fundament dla całej reszty pracy doktorskiej.

Drugi rozdział (**2. Spectral decomposition for thickness estimation**) zawiera kluczowe dla całego doktoratu omówienie technik dekompozycji spektralnej. Na samym jego początku znajduje się określenie „*temporal bed thickness*”. Bardzo mi w tym miejscu brakowało klarownego wyjaśnienia jak ten parametr jest definiowany, w szczególności jaka jest jego relacja do tzw. miąższości czasowej (*time thickness*) czyli miąższości określanej w oparciu o czasowe dane sejsmiczne (tj. w skali pionowej podwójnego czasu przebiegu a nie w metrach) i wyrażonej w jednostkach czasu (np. msek). Polskie tłumaczenie obu określeń (tj. *temporal* i *time*) jest w tym kontekście identyczne (czasowy), w pierwszym przypadku związane ono jest jednak z upływem czasu a w drugim z pionową skalą podwójnego czasu przebiegu, bardzo ważne byłoby jednoznaczne wyjaśnienie różnic między tymi terminami.

Po krótkim wprowadzeniu do problemu sejsmicznego określania miąższości warstw geologicznych Doktorantka omówiła w podrozdziale 2.2 problem tzw. warstw cienkich (*thin bed*). Znajduje się tam następujące zdanie, zawierające dość problematyczne stwierdzenie: „*Thin bed may be understood as a layer of different properties than its upper and lower boundaries, and if thicker, it would produce a visible seismic response at these boundaries but in a situation when it is thin such a pattern is not visible in a seismic response*”. Chodzi tu o wymienne używanie pojęć „warstwa” (*layer*) i „granica” (*boundary*). Zdanie to oznacza, iż cienka warstwa jest warstwą o odmiennych właściwościach (w domyśle – prędkości fal sejsmicznych i gęstości) niż jej górna i dolna granica. Oczywiście jest to błąd – te parametry mogą charakteryzować tylko i wyłącznie warstwy geologiczne, nie granice je rozdzielające, poprawnie zdanie to powinno stanowić, iż cienka warstwa charakteryzuje się parametrami odmiennymi niż warstwa nadległa i warstwa niżejległa. Inna rzecz, że taka definicja nie dotyczy tylko warstwy cienkiej ale po prostu każdej warstwy „sejsmicznej”. Podrozdział 2.2. zawiera w sobie nienumerowane (a szkoda, bo to by ten tekst uporządkowało) części, poświęcone zagadnieniu wykorzystania dekompozycji spektralnej do estymowania miąższości warstw cienkich. Problematyka ta jest omówiona dość szczegółowo i wyczerpująco, choć konstrukcja tej części tekstu jest daleka od optymalnej. Autorka nie ponumerowała kolejnych podrozdziałów i w efekcie jest tam porozdział o analizie jakościowej (**Qualitative analysis**) odnoszący się do dwóch metod, które omówione są poniżej (części zatytułowane **Dominant frequency and dominant amplitude** oraz **Discrete Fourier components**), jednak są one wyróżnione w tekście w taki sam sposób jak część nad nimi nadrzędna (**Qualitative analysis**). Na str. 20 pojawia się z kolei odwołanie do figury 5.1 – to dość zaskakujący przeskok z rozdziału 2, figury powinny być wprowadzane do tekstu kolejno, zgodnie ze swoją numeracją. Z tekstu wynika, że Doktorantka wykonała własne modelowania oparte o prosty model „klinowy” (*wedge model*). Ta część jest zdecydowanie zbyt słabo wyróżniona w tekście – cały ten rozdział najlepiej było podzielić na część podręcznikowo-teoretyczną oraz na część opartą na pracy własnej Doktorantki, w ten sposób jej wyniki byłyby odpowiednio zaprezentowane. Po lekturze tego tekstu nadal nie jestem np. pewien czy Fig. 2.2.C i 2.2.D pokazuje wyniki modelowań wykonanych przez Doktorantkę czy też są to wyniki wzięte z literatury – ani w tekście ani w podpisie pod figurą nie jest to jednoznacznie opisane. W analizie wyników zbyt wiele jest stwierdzeń bez odpowiednich uzasadnień. Za przykład niech posłuży ostatnie zdanie ze str. 23: „*As is visible in Figure D the method correctly estimated the temporal thickness of the model*”. To jest zbyt ogólne stwierdzenie, takie wnioski należało nieco szczegółowiej uzasadnić, bez tego tekst staje się zbyt hermetyczny i może być zrozumiały tylko dla osób na codzień zajmujących się tymi zagadnieniami. Tego typu problem pojawia się również w innych częściach doktoratu. W

części zatytułowanej **Different thin bed models** mowa jest o odbiciach od „... *top and bed of the thin layer*” – po pierwsze termin *thin bed* został tu niepotrzebnie zastąpiony terminem *thin layer*, dodatkowo spąg tej cienkiej warstwy został błędnie określony terminem *bed* zamiast *base*, a w kolejnym zdaniu spąg warstwy określany jest jako *bottom*. Wszystko to wprowadza pewien chaos terminologiczny, utrudniając lekturę doktoratu (choć oczywiście nie mając bezpośredniego znaczenia dla spraw *stricte* merytorycznych). W tej części są odniesienia do pracy doktorskiej Chunga ale w spisie literatury tej pozycji nie ma. W kontekście tych prac wspomniane są w kilku miejscach (np. str. 27, 29) modelowania ale nie jest jasne czy chodzi o modelowania z prac Chunga czy też o modelowania wykonane przez Doktorantkę.

W rozdziale 3 (**Interference**) wprowadzono i szczegółowo omówiono pojęcie warstwy przejściowej i tzw. rampy Wolfa. Zagadnienie to jest w kontekście całej pracy doktorskiej tym ważniejsze, iż zostało wykorzystane do interpretacji danych sejsmicznych 3D obrazujących utwory dolnego syluru na Pomorzu. Podobnie jak poprzednio w obrębie tego rozdziału wydzielono 2 podrozdziały które podzielono na kolejne części, niestety nienumerowane. Takie podejście nieco utrudnia lekturę tekstu. Nie jest również do końca jasne, które z wniosków przedstawionych w części **Conclusions** są wzięte z literatury a które są wnioskami własnymi Doktorantki.

Rozdział 4 (**Geological setting**) to duży przeskok – po teoretycznych rozważaniach dotyczących natury danych sejsmicznych, generowania odbić przez cienkie warstwy, interferencji etc. Doktorantka przeszła do konkretnego *case study* z wykorzystaniem zdjęcia sejsmicznego 3D Lubocino. Mapa z fig. 4.1 pokazująca lokalizację tego zdjęcia sejsmicznego została bez żadnych modyfikacji przeniesiona z artykułu Karnkowskiego (2008), niestety pozostały na niej różne symbole, których znaczenie nie jest jasne, jak np. odniesienie do fig. 3 ze znacznikiem „B”. Niepoprawny jest podział wiążący utwory paleozoiku z orogenezą kaledońską (kambr – sylur) oraz utwory permo-mezozoiku z fazą laramijską. Orogeneza kaledońska rozpoczęła się w tej części Europy mniej więcej na przełomie ordowiku i syluru, w związku z czym utworów kambru i ordowiku w żaden sposób nie można z nią wiązać, natomiast tzw. faza laramijska związana jest na obszarze Polski z późnokredową inwersją co nie ma żadnego związku z całym kompleksem permsko-mezozoicznym. Inne problematyczne, często terminologiczne bądź językowe wyrażenia to *Variscidian gap* (powinno być *Variscan unconformity*) i stwierdzenie, że ta luka związana jest z redukcją utworów dolnego paleozoiku podczas gdy głównie związana jest z brakiem utworów górnego paleozoiku (dewon i karbon), *ignis* zamiast *igneus*, *motley deposits*, *limy-clay deposits* etc. Przy opisie utworów paleozoiku brak jest jakichkolwiek odniesień literaturowych, co jest dużym brakiem, w pracy doktorskiej ze szczególną dbałością powinno się podchodzić do tego rodzaju kwestii. Na str. 51 omówione są dwa systemy uskoku rozwiniętych w obrębie utworów paleozoiku (błędnie określanych mianem kompleksu kaledońskiego), ale zupełnie nie wiadomo, skąd pochodzą takie informacje. Zupełnie niezrozumiałe jest dla mnie stwierdzenie „*The younger system is built of faults created during juvenilisation of the Ordovician faults, but they have a slight deviation in the direction as compared to their predecessors*”. Doktorantka użyła określenia *juvenilisation* mając jak się domyślam na myśli odmłodzenie czyli reaktywację (i dlatego zdecydowanie lepszym terminem byłoby *reactivation*) uskoku wieku ordowickiego, więc nie powinna była pisać, że one zostały stworzone (*created*) bo to jest sprzeczne z ideą reaktywacji. Nie rozumiem też idei

odmiennego kierunku młodszych uskoków będących efektem reaktywacji starszych uskoków, jeśli mamy do czynienia z reaktywacją to z definicji jedne i drugie kierunki są identyczne, reaktywacja oznacza odnowienie przemieszczeń wzdłuż starszych powierzchni uskokowych. Niezrozumiałe jest stwierdzenie, że na przełomie ordowiku i syluru basen uległ przebudowie (*Between the Ordovician and Lower Silurian the sedimentary basin underwent the rebuilt*) – pomijając niepoprawność terminologiczną (termin *rebuilt* może zostać użyty w kontekście przebudowy czy odbudowy np. domu ale nie basenu osadowego) to trudno sobie wyobrazić, że jakiś proces tektoniczny, który zaszedł na przełomie ordowiku i syluru mógł wpłynąć na miąższość utworów syluru, co jest napisane w tekście doktoratu (*This process is indicated by changes in thicknesses of the Silurian and Ordovician deposits (complex from Sb to OrV)*). Doktorantka nie zdefiniowała co się kryje za symbolami Sb i OrV. W tym kontekście odczuwalny jest brak ogólnego profilu stratygraficznego utworów paleozoiku dla tej części basenu bałtyckiego, na którym pokazane byłyby wszystkie użyte w tekście symbole. Zupełnie nie rozumiem również stwierdzenia, że w młodszym paleozoiku (czyli dokładnie kiedy?) synekliza perybałtycka została uniesiona i w efekcie zostały zerodowane utwory dewonu i karbonu aż po czerwony spągowiec (*The tectonic activity in the younger Paleozoic resulted in the uplift of the part of the Peri-Baltic Syncline and erosion of the Devonian and Carboniferous deposits up to the Rotligend Formation*). Wspomniana erozja i powstanie tzw. niezgodności waryscyjskiej miały najprawdopodobniej miejsce w późnym karbonie, a następnie nastąpiła depozycja czerwonego spągowca i młodszych skał kompleksu permsko-mezozoicznego.

W części zatytułowanej „**Characteristics of the chosen horizons**” znajduje się szczegółowy opis wybranych formacji ordowiku i syluru, istnych ze względu na kwestię gazu łupkowego. W opisie wykształcenia tych formacji znajduje się wiele lapsusów lingwistycznych: *lower-lying* i *upper-lying* zamiast *underlying* i *overlying*, *lie with the unconformity* jako zalegać z niezgodnością (powinno być *lie above the unconformity*), *blur surface* jako (jak się domyślam) powierzchnia rozmycia, *lower boundary has a rapid character* – granica geologiczna nie może być określona jako *rapid* co oznacza gwałtowny, szybki, w tym kontekście powinien być użyty termin *sharp*, *a-oxide* zamiast *anoxic*, etc. Przed ewentualną publikacją ta część tekstu powinna zostać w sposób dogłębny sprawdzona i poprawiona. Mam oczywiście świadomość, iż Doktorantka na codzień nie zajmuje się analizami geologicznymi ale jednak powinna była zachować większą skrupulatność w tym zakresie.

Największym problemem, wkraczającym już na obszar zasadniczych analiz sejsmicznych jest fakt, iż Doktorantka w wielu miejscach tekstu utożsamia różnego rodzaju warstwy i formacje (czyli „byty” geologiczne mające swoją miąższość) z pojedynczymi horyzontami sejsmicznymi które nazywa markerami. Na samym początku części „**Characteristics of the chosen horizons**” pisze o formacji z Sasina której ma odpowiadać horyzont sejsmiczny (marker) Ok, o formacji (ogniwie) z Jantara której ma odpowiadać horyzont sejsmiczny (marker) Sla_og.ja, i o formacji z Pastęka której ma odpowiadać horyzont sejsmiczny (marker) Sla. Nawet pobieżna analiza figur 4.3 i 4.5, na których pokazano stratygrafię i miąższości kambru, ordowiku i dolnego syluru oraz dane sejsmiczne pokazuje, że takie stwierdzenie nie jest prawdziwe. Wszystkie te trzy formacje mają wystarczająco duże miąższości, by ich stropy i spągi były związane z osobnymi *eventami* sejsmicznymi, w żadnym razie nie można utożsamiać całych formacji z pojedynczymi

horyzontami sejsmicznymi. To co napisała Doktorantka stosuje się do stropów tych formacji a nie do całych formacji. Wprost takie błędne stwierdzenia znajdują się również w tekście, np. na stronie 56 napisano „*The seismic horizon associated with the Paślęk Formation -Sla- corresponds to the weak positive reflection at approximately 1775 ms*” podczas gdy na tym czasie (TWT) znajduje się odbicie dodatnie odpowiadające stropowi formacji z Paślęka a nie obejmujące całą formację. Identycznie potraktowano formację z Jantara („*The seismic horizon linked to the Jantar Member -Sla og.ja- is visible at approximately 1798 ms ...*”) i formację z Sasina („*The horizon that is related to the Sasino Formation is marked Ok and manifests itself at approximately 1810 ms*”). Te horyzonty sejsmiczne odpowiadają stropom tych formacji a nie całym formacjom. Oczywiście w grę wchodzi również tuning etc., ale sposób w jaki opisane zostały relacje między stratygrafią a obrazem sejsmicznym pozostawia wiele do życzenia, jest zbyt żargonowy. Program SynTool, który był wykorzystany do obliczenia sejsmogramów syntetycznych ma dość prostą ale użyteczną opcję zwaną *contribution plots*, którą można było wykorzystać w tej części doktoratu do zobrazowania zjawiska interferencji odbić związanych z poszczególnymi granicami. Szkoda, że Doktorantka z tej opcji nie skorzystała, analiza poszczególnych odbić jasno pokazałaby, że powinniśmy mówić o odbiciach od poszczególnych granic geologicznych a nie od całych formacji.

Rozdział 5 (**Methodology**) to na powrót przeskok do teorii – Doktorantka omówiła w nim szczegółowo i wyczerpująco teoretyczną stronę dekompozycji spektralnej ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań do interesujących ją zagadnień takich jak estymowanie miąższości warstw cienkich etc. W rozdziale tym znów pojawiają się niejasne określenia takie jak *thickness of the tuned reflector* czy *reflections from the horizons*. Można się też zastanowić, czy ten rozdział nie powinien być zostać połączony z rozdziałem 2 (**Spectral decomposition for thickness estimation**) i w takiej zintegrowanej formie zamieszczony na początku pracy doktorskiej.

Kolejne rozdziały zawierają najważniejsze części dysertacji czyli zastosowanie omówionych wcześniej metod do analizy danych rzeczywistych.

Rozdział 6 (**Verification of the chosen methodology on model data**) zawiera opis prac wykonanych w celu doboru optymalnych wartości parametrów do dekompozycji spektralnej. Wykorzystano w tym celu dane ze zdjęcia 3D Lubocino oraz dane otworowe. Do estymacji elementarnego sygnału sejsmicznego wykorzystane zostały obie omówione wcześniej metody, tj. statystyczna i deterministyczna. Po przeanalizowaniu kwestii sygnału elementarnego w podrozdziałach 6.2. **Synthetic model** i 6.3. **Layer-cake model** opisane zostały wyniki modelowań mających na celu weryfikację optymalnych parametrów do dekompozycji spektralnej. Nie jest dla nie jasne dlaczego te dwa podrozdziały zostały rozdzielone, jako że oba one dotyczą tego samego problemu analizowanego w oparciu o modele syntetyczne. Doktorantka w całym rozdziale 6 dokonała bardzo szczegółowej i wyczerpującej analizy szerokiego spektrum parametrów istotnych dla procedur dekompozycji spektralnej łącznie z parametrami istotnymi dla prezentacji wyników na niej opartych. W opisie dotyczącym deterministycznej metody estymacji sygnału elementarnego znalazło się dość nieszczęśliwe stwierdzenie: „... *OrV horizon despite its poor reservoir properties is a good regional marker ...*”. Pod symbolem OrV kryje się strop formacji z Kopalina, a strop żadnej formacji nie może mieć słabych (ani żadnych innych) własności zbiornikowych, tylko formacja albo jakaś jej część może mieć takie własności. Na str. 77 jest z

kolei stwierdzenie „*The resulting image made it possible to define two packets: one consists of the Jantar Member, top of the Ordovician and the Sasino Formation*” – znów „do jednego worka” wrzucono tu dwie formacje litostratygraficzne charakteryzujące się pewną miąższością oraz strop trzeciej formacji (czyli ordowiku). Intencje Doktorantki są dla mnie jasne jednak w pracy doktorskiej powinno się wystrzegać takich uproszczeń.

Rozdział 7 zatytułowany **Results** zawiera opis wyników zastosowania dekompozycji spektralnej do analizy danych sejsmiki 3D Lubocino i zobrazowanych na nich utworów ordowiku i dolnego syluru. W szczególności, podjęty został problem estymacji warstw cienkich występujących w obrębie tego interwału stratygraficznego oraz kwestia występowania w dolnym sylurze tzw. rampy Wolfa. W tym drugim przypadku przyjęto, iż kształt krzywej akustycznej dla formacji z Pasłęka pozwala na postawienie hipotezy, że właśnie ta formacja ma charakter rampy Wolfa. W toku dalszej analizy i prezentacji wyników obliczeń (podrozdział 7.1 **Verification of the existence of a Wolf ramp**) teza ta została przekonująco uzasadniona. Podrozdział 7.2. ma niezbyt zrozumiały tytuł: **Thickness relation of the tuned Silurian and Ordovician deposits** – w jaki sposób osady mogą być poddane tuningowi ...? To rzecz jasna skrót myślowy, związany ze zjawiskiem tuningu charakterystycznym dla utworów ordowiku i dolnego syluru, ale lepiej było ten tytuł sformułować bardziej precyzyjnie. Na str. 104 znajdują się kilkakrotnie powtórzone z gruntu błędne określenia dotyczące relacji formacji litostratygraficznych i ich granic oraz obrazu sejsmicznego:

- „...this time horizon corresponds to the border between the Jantar Member and the top of the Ordovician” – czasowy horyzont sejsmiczny nie może odpowiadać granicy (która nota bene powinna być zostać określona jako *boundary* a nie *border*) między formacją (ogniwem z Jantara) a stropem innej formacji stratygraficznej (tj. stropem ordowiku), który przecież sam w sobie jest granicą
- „...new horizon which is believed to be the border between the Jantar Member and the top of Ordovician deposits” – jw.
- „...thin layer that corresponds to the border between the Jantar Member and the top of the Ordovician deposits” – to jest już zupełnie niezrozumiałe, co może oznaczać cienka warstwa odpowiadająca granicy między ogniwem z Jantara a stropem ordowiku ...?

Pomijając jednak wspomniane powyżej kwestie terminologiczno-lingwistyczne – ważne ale jednak drugorzędowe – trzeba podkreślić, iż wyniki analiz dotyczących detekcji cienkich warstw występujących w obrębie ordowiku i dolnego syluru zostały przedstawione w sposób bardzo przekonujący, Doktorantka wykazała, iż zastosowane przez nią podejście oparte na dekompozycji spektralnej daje dobre rezultaty.

Ostatni „merytoryczny” rozdział 8, zatytułowany **Discussion and final conclusions**, zawiera dwa zasadnicze podrozdziały. W pierwszym z nich (8.1. **Discussion**) zawarta jest stosunkowo szeroka dyskusja szeregu problemów, które Autorka porusza w swoim doktoracie ale których finalnie nie rozstrzyga. Należą do nich takie kwestie jak relacje nasycenia gazem warstwy przejściowej i jej odpowiedzi (charakterystyki) częstotliwościowej czy też kwestia zmian prędkości w obrębie strefy utożsamianej z rampą Wolfa i zmianą zapiaszczenia w jej obrębie. W tym drugim przypadku wyraźnie widać, iż w przyszłości

bardzo cenne byłoby włączenie do tych prac sedimentologa, który byłby w stanie opracować znacznie szczegółowszą charakterystykę litologiczno-facjalną, która następnie mogłaby być wykorzystana do analiz opartych na danych sejsmicznych poddanych m.in. dekompozycji spektralnej. Warto byłoby również uwzględnić inne parametry takie jak porowatość, obecność innych litologii etc. Podrozdział 8.2. zatytułowany **Final conclusions** zawiera, zgodnie ze swoim tytułem, podsumowanie całości uzyskanych wyników. Trzy ostatnie punkty tego podsumowania to zarazem odpowiedzi na postawione na samym początku pracy doktorskiej pytania – takie podejście zamyka bardzo ładną klamrą całą dysertację.

Reasumując, można stwierdzić, iż pomimo pewnych braków recenzowany doktorat to dojrzałe studium sejsmiczne oparte na modelowaniach sejsmicznych i analizie danych sejsmicznych wspartej analizą danych otworowych. Praca bez wątpienia stanowi samodzielny dorobek Doktorantki i dokumentuje jej szeroka wiedzę teoretyczną i praktyczną dotyczącą różnych aspektów sejsmiki refleksyjnej. Doktorantka udowodniła, iż jest w pełni przygotowana do prowadzenia samodzielnych badań naukowych z zakresu sejsmiki refleksyjnej. Biorąc to pod uwagę z pełnym przekonaniem mogę stwierdzić, że praca Pani mgr inż. Anny Kwietniak zatytułowana „*Spectral decomposition of a seismic signal: thin bed thickness estimation and analysis of attenuating zones*” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim w stosownej Ustawie o stopniach i tytule naukowym, i w związku z tym wnioskuję do Rady Naukowej WGGiOŚ AGH o dopuszczenie Doktorantki do dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.

