

Kraków, 12 kwietnia 2016 r.

Akademia Górniczo – Hutnicza

im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Katedra Surowców Energetycznych

Temat pracy doktorskiej: Dekompozycja spektralna sygnału sejsmicznego – estymacja miąższości cienkich warstw i analiza stref tłumienia

Promotor: Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślusarczyk

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Maćkowski

Autor: Anna Kwietniak

Streszczenie pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska dotyczy analizy częstotliwościowej sygnału sejsmicznego w oparciu o algorytmy dekompozycji spektralnej. Praca skupiła się na dwóch celach. Pierwszym było zastosowanie algorytmów dekompozycji do oszacowania miąższości cienkich warstw, drugim zastosowanie metody do identyfikacji stref tłumienia sygnału sejsmicznego. Do zrealizowania postawionych celów badawczych wykorzystane zostały modelowe dane sejsmiczne 2D i 3D oraz rzeczywiste dane sejsmiczne 3D.

Estymacja miąższości cienkich warstw realizowana była w oparciu o algorytm szybkiej transformaty Fouriera implementowanej w krótkich oknach. Metodologia wykorzystywała znane z literatury rozwiązania. W celu zastosowania metod stworzono syntetyczne modele sejsmiczne 2D.

Pierwszy model był modelem cienkiej warstwy, który powtarzał eksperyment opisany w literaturze. Celem tego etapu było zweryfikowanie, czy metoda może być zastosowana z wykorzystaniem dostępnych komercyjnych programów. Wyniki przeprowadzonych analiz okazały się pozytywne – metoda z powodzeniem pozwoliła określić miąższość czasową pojedynczej warstwy.

Kolejno wykonano modele ośrodka geologicznego odpowiadającego warstwom geologicznym stwierdzonym dla części interwału paleozoicznego w otworze Lubocino-1. Są to warstwy charakteryzujące się małymi miąższościami, o potencjalnym charakterze poszukiwawczym w aspekcie złóż niekonwencjonalnych. Powstałe modele splatano z sygnałami elementarnymi Rickera, a także z sygnałami wyekstrahowanymi z wolumenu danych sejsmicznych Lubocino 3D. Następnie modele zostały poddane procesowi dekompozycji spektralnej z wykorzystaniem trzech algorytmów. W pracach zastosowano algorytmy dekompozycji w oparciu o szybka transformatę Fouriera (Fast Fourier Transform, FFT), ciągłą transformatę waveletu (Continuous Wavelet Transform, CWT) oraz ciągłą empiryczną dekompozycję modalną (Continuous Ensemble Empirical Mode Decomposition). Dla danych modelowych obliczano również wybrane atrybuty sejsmiczne – częstotliwość dominującą oraz częstotliwość chwilową.

Celem analiz była kalibracja parametrów dekompozycji, a także wybór optymalnego zestawu metod dla estymacji miąższości czasowej cienkich warstw. Kalibracja parametrów dekompozycji dla danych modelowych pozwoliła na wybór zestawu, dla którego wyniki były najbardziej obiecujące. Testowano wybór długości okna dla metody FFT, wybór rodzaju waveletu dla dekompozycji metodą CWT, ilość iteracji, poziom szumu oraz ilość składowych częstotliwościowych dla metody CEEMD. Wybrane parametry wykorzystano w analizach na rzeczywistych danych sejsmicznych 3D.

Najważniejszym wnioskiem z zastosowanych badań jest stwierdzenie, że estymacja ilościowa miąższości cienkich warstw w skomplikowanym ośrodku geologicznym (rozumianym jako modele wielowarstwowe) z wykorzystaniem dekompozycji spektralnej jest niemożliwa. Niemniej jednak, metoda dekompozycji spektralnej daje dobre wyniki w analizie porównawczej miąższości czasowej, jest efektywnym narzędziem dla interpretacji jakościowej. Atrybutem pomocnym w identyfikacji cienkich warstw jest częstotliwość chwilowa.

Identyfikacja stref tłumienia sygnału sejsmicznego realizowana była w oparciu o teoretyczną koncepcję strefy przejściowej, która charakteryzuje się selektywnym, zależnym od częstotliwości tłumieniem sygnału sejsmicznego. W pracy przedstawiono obszernie teorię dotyczącą strefy przejściowej, tzw.

rampy Wolfa która rozumiana jest jako strefa wykazująca liniową zmianę prędkości z głębokością, podczas gdy gęstość zakładana jest jako stała.

Dla strefy przejściowej wykonano modelowania by zweryfikować możliwość identyfikacji z wykorzystaniem dostępnego oprogramowania. Wyniki testów okazały się pozytywne. Możliwość zdefiniowania strefy łączona była z interwałem syluru dolnego, a konkretnie z formacją z Pasłęka, która jest stwierdzona w otworze Lubocino-1. Dla wybranego interwału, analizując krzywe geofizyki wiertniczej, obserwuje się liniową zmianę prędkości z głębokością. Odpowiedź sejsmiczna od formacji z Pasłęka nie nadaje się do rutynowej interpretacji – refleks powstały w jej stropie i spągu cechuje się niską amplitudą oraz małą dynamiką. Interwał formacji z Pasłęka jest potencjalnym horyzontem poszukiwawczym w aspekcie złóż niekonwencjonalnych, dlatego pożądane jest znalezienie metody pomocnej w jego interpretacji.

Analiza sejsmogramów syntetycznych wykazała, że w istocie amplituda sygnału dla badanego interwału jest zależna od częstotliwości, przy czym największe amplitudy obserwuje się dla niskich częstotliwości (rzędu 15-20 Hz).

By zweryfikować możliwość zastosowania analiz, przed przystąpieniem do obliczania dekompozycji spektralnej wykonano inwersję sejsmiczną w oparciu o dane z otworu Lubocino-1. Wynikowy syntetyczny wolumen poddano dekompozycji spektralnej, której wyniki wykazują anomalię niskoczęstotliwościową dla wybranego interwału. Zastosowanie metod dekompozycji spektralnej dla wolumenu rzeczywistych danych sejsmicznych 3D dało dobre i bardzo dobre wyniki, które dla wszystkich wybranych metod są spójne. Najlepszą metodą dla identyfikacji strefy przejściowej okazała się dekompozycja z wykorzystaniem algorytmu CEEMD. W oparciu o jej wynik wyinterpretowano strop i spąg anomalii, a dzięki temu obliczono mapy rozkładu miąższości czasowej niskoczęstotliwościowej anomalii sylurskiej w obrębie zdjęcia sejsmicznego Lubocino 3D.

Zastosowanie częstotliwości chwilowej pozwoliło na wyinterpretowanie dodatkowej granicy sejsmicznej, która w obrębie zdjęcia odpowiada przejściu pomiędzy dwoma horyzontami sejsmicznymi. Dodatkowa granica wiąże się z silną anomalią wysokoczęstotliwościową. Horyzonty rozdzielone anomalią

wysokoczęstotliwościową nie były jak dotąd osobno interpretowane ze względu na małe miąższości i trudności z nich wynikające.

Wnioskiem płynącym z analizy spektralnej dla interwału sylurskiego jest zakwalifikowanie formacji z Pasłęka jako potencjalnej strefy przejściowej. Analiza podsumowana jest dyskusją o potencjalnym źródle niskoczęstotliwościowej anomalii sylurskiej związanej ze strefą przejściową, a także postawieniem nowych hipotez badawczych. Sformułowanie pytań otwartych było możliwe dzięki przeanalizowaniu krzywych z otworów przewiercających formację z Pasłęka, usytuowanych w bliskiej odległości od obszaru badań: Kochanowo-1, Opalino-3 oraz Wysin-1. Zapis krzywych geofizyki wiertniczej z tych otworów podtrzymuje hipotezę, że formacja z Pasłęka może być zakwalifikowana jako rampa Wolfa. Metoda dekompozycji spektralnej pozwoliła z powodzeniem wyodrębnić strefę przejściową dla rzeczywistych danych sejsmicznych 3D.

Praca, oprócz przeprowadzonych eksperymentów przedstawia rozwiązania teoretyczne i metody estymacji miąższości cienkich warstw. Prezentuje wykorzystywane w przemyśle algorytmy i zwraca uwagę na problemy natury technicznej występujące podczas interpretacji. Osobny rozdział poświęcony jest określeniu stabilności waveletu w danych sejsmicznych, który może znacząco wpłynąć na wyniki interpretacji częstotliwościowej. W pracy przedstawiony jest również zarys budowy geologicznej badanego obszaru. Obejmuje on budowę strukturalną, a także opis litologiczny formacji geologicznych będących przedmiotem analiz. Do pracy dołączone są cztery załączniki graficzne przedstawione w formie map w skali 1:25 000.