

im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Katedra Geofizyki

Tytuł pracy doktorskiej: „Konstrukcja sejsmo - geologicznego modelu utworów polodowcowych na bazie kompleksowych pomiarów sejsmiki wysokiej rozdzielczości w płn.- zach. części Nizżu Polskiego”.

Promotor: Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślusarczyk

Autor: mgr inż. Rafał Matuła

Spis rozdziałów wraz ze skrótowym zarysem zawartości

Rozdział 1

Podrozdział 1.1 pierwszy zawiera informacje wstępne oraz spis tez postawionych w pracy doktorskiej. Omówiono w nim podstawowy cel pracy. Wyróżniono dwie płaszczyzny wykorzystania sejsmiki inżynierskiej. Poza aspektem wielowariantowego obrazowania utworów polodowcowych praca skupia się na wykorzystaniu rezultatów sejsmiki inżynierskiej jako narzędzia wsparcia sejsmiki prospekcyjnej. Podrozdział tłumaczy kompozycję rozprawy. W podrozdziale 1.2 wypunktowano cztery tezy, których dowód przeprowadzono w niniejszej rozprawie. Kolejny podrozdział opisuje lokalizację przeprowadzonych badań. Podrozdział 1.4 przedstawia zarys historii obrazowania utworów polodowcowych. Opisano w nim ewolucję badań sejsmicznych sedimentów post - glacialnych. Wymieniono metodyki sejsmiczne, użyte w diskutowanym aspekcie badawczym na przestrzeni dwudziestu lat. Podrozdział 1.5 zawiera przedstawienie koncepcji badawczej, zawartej w rozprawie. Opisano w nim warianty sejsmiczne, wykorzystane do obrazowania ośrodka polodowcowego. Przedstawiono ideę inwersji łączonej pomiędzy wykorzystanymi metodykami badawczymi.

Rozdział 2

W rozdziale drugim zawarto opis geologiczny rejonu badań. Zorientowano teren badawczy na tle tektoniki regionalnej oraz mezo - regionów Pojezierza Zachodniopomorskiego. Zawarto w nim szkic geomorfologiczny oraz glaci - tektoniczny obrazowanych utworów. Opisano w nim właściwości sedimentów polodowcowych ze wskazaniem na ich cechy, które są istotne w świetle konstruowanego modelu sejsmo - geologicznego.

Rozdział 3

Rozdział rozpoczyna opis lokalizacji poligonu badawczego, na którym przeprowadzono badania testowe przed właściwym rozpoczęciem prac sejsmicznych. W podrozdziale 3.2 przedstawiono sposoby realizacji pomiarów polowych. Wskazano na dwa podstawowe schematy geometrii pomiarowej sejsmiki inżynierskiej, na bazie których opracowano indywidualny model geometrii pomiarowej, użyty w trakcie realizacji prac związanych z sejsmiką refleksyjną. Opis wykorzystanego sprzętu pomiarowego zawiera podrozdział 3.3, natomiast w podrozdziale 3.4 przedstawiono wprowadzone modyfikacje, pozwalające na efektywne pozyskanie informacji o

ośrodka polodowcowym. Zastosowano niesymetryczny układ punktów wzbudzenia względem rozstawu sejsmicznego. Operowano krotnością pokrycia w celu pozyskania stref jego kumulacji co miało zastosowanie w późniejszych analizach prędkości. Konfigurację układów pomiarowych uzasadniono testem polowym. W wariancie wielokanałowej analizy fal powierzchniowych wykorzystano schemat profilowania ciągłego. Odcinek badawczy podzielono na sekcje estymacyjne. Do pozyskania rekordów sejsmicznych wykorzystano mobilny układ pomiarowy zwany „land streamerem”. Wariant pomiaru sejsmiki pasywnej został oparty o topologię linii. Zarówno jej długość jak i czas nasłuchu dopasowano do obserwowanego tła sejsmicznego, indukowanego przez obecność urządzeń pomiarowych oraz naturalne fluktuacje nisko częstotliwościowe. Wariant refleksyjny jak również pasywny przeprowadzono w oparciu o stałe pozycje rozstawów względem profilu badawczego.

Rozdział 4

Rozdział 4.1 zawiera krótki opis wariantu profilowania prędkości w otworze. Omówiono w nim obliczone rozkłady prędkości fali podłużnej i poprzecznej. Wskazano na anomalne zachowanie wartości prędkości fali poprzecznej w polaryzacji wertykalnej. Pozyskane wyniki stanowiły rozkłady kalibracyjne w wariancie wielokanałowej analizy fal powierzchniowych. Analizę pozyskanych danych rozpoczęto od wielokanałowej analizy fal powierzchniowych. W podrozdziale 4.2 przedstawiono wstęp teoretyczny związany ze szczególnymi cechami fali powierzchniowej oraz omówieniem podstaw teoretycznych analizy fali powierzchniowej. Wiele uwagi poświęcono parametryzacji procesu inwersji w metodzie MASW co jest treścią podrozdziału 4.3. Początkowe stałe modeli startowych uzależniono od prędkości fazowej (postaci krzywej dyspersji) oraz relacji pomiędzy prędkością fali podłużnej oraz poprzecznej w ośrodku polodowcowym. Zależność pomiędzy wspomnianymi stałymi podparto wynikami badań bezpośrednich oraz literaturą. Omówiono modalne zachowanie fali powierzchniowej, wskazano na trudności związane ze zmiennością zapisu zjawiska fali powierzchniowej. Wprowadzono schemat pikowania oraz analizy krzywych dyspersji dopasowany do charakterystyki pozyskanych danych. W podrozdziale 4.4 przedstawiono wyniki badań sejsmiki pasywnej. Stwierdzono brak zasadności ich wykorzystania w kontekście zwiększenia zasięgu penetracji metody MASW. Wykazano obecność szumu indukowanego wzdłuż rozstawu oraz wskazano na niską jakość pasywnych krzywych dyspersji. Wykonano test analizy zapisów wariantu refleksyjnego pod kątem wykorzystania zapisu fali powierzchniowej. Wspomniana analiza jest treścią podrozdziału 4.5. Na jego bazie wykazano generalizację powstałego rozkładu prędkości fali poprzecznej i utratę szczegółów strukturalnych otrzymanego modelu prędkości. W podrozdziale 4.6 przedstawiono wyniki przetwarzania danych w metodzie MASW. Wskazano zróżnicowanie wartości średniego błędu kwadratowego. Stwierdzono brak powiązania jego wzrostu z modalną postacią obserwowanego zjawiska fali powierzchniowej. Jego rozkład utożsamiono ze zmianami w strukturze wewnętrznej osadów polodowcowych. Podrozdział 4.7 zawiera zestawienie części rezultatów metody MASW z pomiarem otworowym.

Rozdział 5

Rozdział 5 został poświęcony interpretacji danych refrakcyjnych. Jego początek zawiera opis fali refrakcyjnej oraz omówienie technik użytych do jej analizy. W podrozdziale 5.2 dokonano opisu cech kinematycznych fali refrakcyjnej. Szczególną wagę skupiono na konstrukcji początkowego rozkładu prędkości w tomografii refrakcyjnej co jest treścią podrozdziału 5.3. Podstawą jego budowy były wyniki wielokanałowej analizy fal powierzchniowych. Wprowadzono i omówiono pojęcie poprawek statycznych. Obliczono ich wartości oraz

przeprowadzono dyskusję nad charakterystyką rozkładów wartości poprawek. W podrozdziale 5.5 opracowano technikę badań azymutalnych przy użyciu mobilnego układu pomiarowego. Pozyskane wyniki wykorzystano do estymacji poprawek statycznych, wyniki porównano z otworowymi rozkładami prędkości. W podrozdziale 5.6 obliczono wartości poprawek statycznych dla wariantu prospekcyjnego. W estymacji uwzględniono informacje o przypowierzchniowym rozkładzie prędkości sejsmiki inżynierskiej.

Rozdział 6

Rozdział szósty obejmuje analizę rekordów wariantu refleksyjnego. W podrozdziale 6.1 i 6.2 zawarto odpowiednio: podstawy teoretyczne związane z propagacją fali odbitej oraz poruszono aspekt cech zapisu fali odbitej. Tematem podrozdziału 6.3 jest usuwanie zakłóceń koherentnych. Przedstawiono dwie metody eliminacji wspomnianego szumu. Uzasadniono ich wykorzystanie na zasadzie opisu efektów filtracji. Wskazano sposób adaptacji wykorzystanych technik w zastosowaniu do danych sejsmiki inżynierskiej. Posłużono się różnicowym schematem filtracji w metodzie F – K oraz transformacji radialnej. Filtr pasmowy w technice radialnej dopasowano do zakresu spektralnego fali powierzchniowej. W podrozdziale 6.4 przedstawiono etap analiz prędkości. W zastosowaniu do obrazowania utworów lodowcowych opracowano dwustopniową procedurę wyznaczania pola prędkości składania. W pierwszym etapie wykorzystano klasyczny schemat z użyciem funkcji kross - koherencji *Semblance*. Analizę przeprowadzono w obszarach kumulacji pokrycia. Wyznaczono pole średnie na bazie danych z zaaplikowaną poprawką statyczną refrakcyjną jak i tomograficzną. Zdefiniowane pole posłużyło do kolejnych analiz, zgodnie z wykorzystaną procedurą CVS. Obliczono sumy sejsmiki inżynierskiej, a także porównano je z wycinkiem sumy prospekcyjnej. W podrozdziale 6.5 omówiono cechy szczególne otrzymanych rezultatów, wynikające z zastosowanych rozwiązań statycznych. Ostatni podrozdział zawiera proponowaną procedurę przetwarzania danych refleksyjnych, płytkich z obszaru Niżu Polskiego.

Rozdział 7

Konstrukcję modelu sejsmo - geologicznego rozpoczęto od podrozdziału omawiającego deformujący wpływ łądolodu na osad przypowierzchniowy. Zawarto w nim uproszczony schemat propagacji czoła lodowca wraz z możliwymi deformacjami na jego przedpolu. Kolejno w podrozdziale 7.2 przedstawiono pojęcie modelu sejsmo - geologicznego oraz sejsmo - facji. Omawiany podrozdział ma charakter studium literaturowego, dotyczącego interpretacji sejsmo - facjalnych oraz możliwości ich wykorzystania. W podrozdziale 7.3 zebrano informacje geologiczne o rejonie badań oraz wyniki badań otworowych. Tworzą one bazę informacji niezbędną do podjęcia dyskusji w podrozdziale 7.4. Etap konwersji czasowo głębokościowej rozpoczęto od wskazania pola prędkości, którego użyto do obliczenia poziomu zalegania horyzontów refleksyjnych. Zestawiono wyniki estymacji głębokościowych sejsmiki refleksyjnej z posiadanymi danymi otworowymi oraz modelem geologicznym, pozyskanym z dokumentacji arkusza Nadarzyce. Sumy refleksyjne po konwersji głębokościowej korelowano z wynikami tomografii refrakcyjnej i wielokanałowej analizy fal powierzchniowych. Ze względu na trudności ekspozycyjne interpretację podzielono na dwa etapy. W pierwszym analizowano dane do głębokości 30 metrów. Było to podyktowane zróżnicowaniem pozyskanych pól prędkości, a także komplikacją wewnętrzną, najpłytszej strefy utworów polodowcowych. Wykazane rozbieżności pomiędzy otworową interpretacją geologiczną a otrzymanymi wynikami profilowań prędkości posłużyły do opracowania indywidualnej ścieżki analizy posiadanych rezultatów. Wartości pola prędkości fali podłużnej i poprzecznej powiązано w funkcji współczynnika Poissona oraz stosunku prędkości fali podłużnej do poprzecznej. Są one wskaźnikiem geo -

mechanicznym - miarą zwięzłości podłoża, a także hydrogeologicznym - określającym stopień saturacji materiału nieskonsolidowanego. Na dwóch wspomnianych mapach przeprowadzono interpretację granic w domenie głębokości. Na ich podstawie nakreślono właściwości fizyczne materiału polodowcowego w obu ośrodkach a następnie zestawiono je na jednym modelu zbiorczym. Wykazano istnienie stref zawodnionych o charakterze ciał zawieszonych, których istnienie jest uzasadnione w przypadku obecności warstw uszczelniających - ilastych. Na tej podstawie ustalono przebieg warstw ilów, stanowiących pierwsze piętro deformacyjne tworzonego modelu. Na początkowym etapie interpretacji bardzo ważnym krokiem było znalezienie horyzontu odniesienia, który odpowiada pseudo - podłożu, obecnemu na otrzymanych mapach prędkości. Zgodnie z przeprowadzoną konwersją jest to warstwa odbijająca na czasie 38 msec. Przewierca ją otwór na głębokości około 29 metrów. Po połączeniu wszystkich wyników w jednolitą dziedzinę głębokości, rozpoczęto analizę horyzontów refleksyjnych. Podstawowym kryterium oznaczania granic jest zbieżność głębokości zalegania warstwy odbijającej z posiadanymi danymi geologicznymi. W drugiej kolejności sumy porównywano ze wzorcami sejsmo - facjalnymi. Powstający model posiada przerwania ciągłości warstw, tak więc ich śledzenie w całej rozciągłości profilu badawczego nie jest możliwe. W takim przypadku podpierano się podobieństwem fazowym granic sejsmicznych oraz charakterystyką kinematyczną wzorców sejsmo - facji. W skutek powyższych działań opracowano hybrydowy, sejsmo - geologiczny model utworów polodowcowych, na którego wydzielenia strukturalne nałożono warstwę interpretacji geologicznej. Podrozdział 7.5 zawiera przedstawienie modelu glaci - tektonicznego. Wyróżniono w nim trzy piętra deformacyjne. Pierwsze, płytkie, odznaczające się silną deformacją warstw plastycznych, zatopionych w utworach piaszczystych. Drugie, pośrednie scharakteryzowane przez struktury fałdowe o dużej amplitudzie i przerwaniem ciągłości warstw. Trzecie, związane z częścią spagową opracowanego modelu. Zawiera ono struktury imbrykacyjne. Określono strefę antyklinalną, stanowiącą obszar kumulacji naprężeń. Ponadto wykazano udział mikro - tektoniki podłoża w procesie kształtowania form polodowcowych.

Rozdział 8

W końcowej części pracy przedstawiono zbiór wniosków dotyczących założonego schematu przetwarzania danych oraz otrzymanych rezultatów. Nakreślono w nim możliwości wykorzystania eksponowanych wyników oraz jedną z możliwych ścieżek użycia eksponowanych modeli w aspekcie badań prospekcyjnych. Wskazano drogę rozwoju wysoko - rozdzielczego obrazowania sedimentów polodowcowych.

Rozdział 9

W podrozdziale dziewiątym zawarto podziękowania.