

dr hab. inż. Michał Stefaniuk
Prof. AGH,
Akademia Górniczo – Hutnicza im. St. Staszica
w Krakowie, 30 – 059 Kraków,
Al. A. Mickiewicza 30

Kraków 29.01.2019 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Szymona Oryńskiego
pt. „Analiza głębokich struktur litosfery w obrębie stref uskokowych Dolska i Odry,
w wyniku zintegrowanej interpretacji 1-D, 2-D oraz 3-D danych magnetotellurycznych”.

1. Wstęp

Recenzję rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Szymona Oryńskiego pt. „Analiza głębokich struktur litosfery w obrębie stref uskokowych Dolska i Odry, w wyniku zintegrowanej interpretacji 1-D, 2-D oraz 3-D danych magnetotellurycznych” opracowałem w odpowiedzi na pismo Zastępcy Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk Pana dr hab. Mariusza Majdańskiego prof. PAN, z dnia 19.11.2018 r., o znaku NS-420-21/18. Rozprawa została wykonana w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie pod kierunkiem promotora Pana dr hab. Waldemara Józwiaka prof. PAN i promotora pomocniczego Pana dr inż. Wojciecha Klityńskiego. Stwierdzam, że powyższa rozprawa pod względem tematyki mieści się w dziedzinie Nauk o Ziemi w dyscyplinie naukowej geofizyka i specjalności geomagnetyzm.

Rozprawa doktorska 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 204 z 2014 r. poz. 1852 ze zm.) powinna zawierać *oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta określonego zagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej*. W recenzji przedstawiam analizę rozprawy w aspekcie oryginalności przedstawionego w niej zagadnienia naukowego, a także jej elementów, potwierdzających wiedzę teoretyczną i inne wymagane umiejętności Doktoranta. Rozprawa przedstawiona została w postaci czterech rozdziałów głównych oraz podsumowania i wniosków tworzących rozdział piąty. Analiza przedstawiona

została w odniesieniu do treści każdego z rozdziałów, a na jej podstawie została sformułowana jej ogólna ocena.

Główną treść rozprawy poprzedza streszczenie w językach polskim i angielskim zawierające sformułowanie celu pracy i ogólne omówienie wykonanych badań oraz uzyskanych rezultatów. Rozprawę uzupełniają:

- „Lista stacji magnetotellurycznych użytych w pracy” (pozycja nr 6 spisu treści), zawierająca zestawienie podstawowych informacji o sondowaniach magnetotellurycznych wykonanych dla 51 stacji pomiarowych;
- „Spis rysunków” (pozycja nr 7 spisu treści), zawierający 66 pozycji ponumerowanych od 1 do 72. W rzeczywistości praca zawiera 73 figury, w tym 34 złożone zawierające po kilka wersji rysunku. Siedem figur nie zostało zamieszczonych w spisie (nr: 21,24-28, 32), pojawiła się też ta sama numeracja (15) dla dwóch kolejnych pozycji;
- „Spis tabel” (pozycja nr 8 spisu treści), zawierający 8 pozycji, ponumerowanych od 1 do 6, (2 dwukrotne powtórzenia numerów). Tabele zawierają: zestawienie równań Maxwell’a, zestawienia błędów dopasowania danych empirycznych do modelowych w procesie kolejnych obliczanych inwersji oraz listę stacji pomiarowych;
- „Bibliografia” (Spis literatury, pozycja nr 9 spisu treści) licząca 117 pozycji, w tym 6 instrukcji obsługi aparatury i oprogramowania, 3 strony internetowe i jeden akt prawny. Zdecydowana większość pozycji literaturowych napisana została w języku angielskim. Autor rozprawy jest współautorem jednego z zamieszczonych w spisie artykułów. Spis zawiera prawie wyłącznie literaturę cytowaną.

Rozprawa liczy 221 stron (łącznie z bibliografią i spisami rysunków, tabel i stacji pomiarowych) i jest bogato ilustrowana. Układ pracy jest względnie przejrzysty. W tekście, opisach i numeracji rysunków pojawiają się liczne błędy o charakterze edycyjnym nie związane w większości z merytoryczną zawartością pracy. Ze względu na ich masowość rezygnuję z ich wylistowania w zasadniczej części recenzji, sugestie korekt niezbędnych, w mojej opinii, w przygotowaniu ewentualnej publikacji przekażę Autorowi w postaci poprawek w numerycznej wersji pracy.

2. Analiza rozdziałów rozprawy

W czterech głównych rozdziałach rozprawy Autor przedstawia podstawowe informacje na temat grupy metod magnetotellurycznych w tym ich podstawy teoretyczne (Rozdział 1), oraz ogólne informacje nt. obszaru badań zawierające kontekst tektoniczny prezentowanych badań geoelektrycznych, metodykę badań i charakterystykę wykorzystanych środków technicznych (Rozdział 2). Obszerna analiza danych pomiarowych obejmująca ich przetwarzanie i interpretację przedstawiona została w rozdziale nr 3. Rozdział 4 poświęcony został wizualizacji i dyskusji wyników badań. Zasadnicze dla analizowanej pracy są rozdziały, poświęcone magnetotellurycznym modelowaniom inwersyjnym.

W rozdziale pierwszym pt. „Metoda magnetotelluryczna” Autor w siedmiu podrozdziałach pierwszego rzędu i czterech drugiego rzędu przedstawia ogólną charakterystykę oraz fizyczne i matematyczne podstawy grupy metod magnetotellurycznych i metody magnetowariacyjnej. Przedstawiona została geneza naturalnych pól źródłowych oraz fizyczne i matematyczne podstawy indukcji elektromagnetycznej w ośrodku skalnym. Wychodząc z równań Maxwella Autor wyprowadza podstawowe równania i zależności wykorzystywane w metodzie magnetotellurycznej. Omawia m.in. związki pomiędzy składowymi pola elektrycznego i magnetycznego na powierzchni Ziemi, dla przypadku ogólnego (3D) i szczególnych przypadków ośrodka 2D i 1D.

W kolejnych podrozdziałach omówione zostały założenia metodyki badań magnetotellurycznych, uproszczone modele ośrodka jednowymiarowego, a także problem tzw. „wymiarowości” ośrodka geoelektrycznego. Szczególną uwagę Autor poświęcił problemowi rotacji tensora impedancji a zatem określeniu diagramów kierunkowych impedancji i niezmienników funkcji przejścia względem rotacji układu pomiarowego. Ostatnie dwa podrozdziały poświęcone są zastosowaniom metody magnetotellurycznej i ocenie wpływu zakłóceń na wyniki badań. Rozdział opracowany został na podstawie literatury i ma charakter dosyć ogólnikowy. Niewątpliwie potwierdza rozległą znajomość problematyki metod geoelektrycznych i erudycję Autora ale zawiera szereg elementów zbędnych dla wykonanej pracy tzn. później nie wykorzystywanych. Autor nie ustrzega się też pewnych uproszczeń i błędów w prezentacji powyższych informacji.

Na stronie 16. np. Autor używa skrótu TDEM tłumacząc to jako symbol procesów przejściowych. Wynika to zapewne z błędnej terminologii pochodzącej z literatury lub

błędny jej tłumaczenia. Z języka angielskiego metoda procesów przejściowych to „transient electromagnetic method, TEM”, natomiast skrót TDEM oznacza „Time Domain Electromagnetic Methods” i obejmuje zespół metod, w których pomiary i opracowanie danych wykonywane są w reżimie czasowym. Pomiary poszukiwawcze za pomocą metody AMT/MT wykonuje się nawet jako profilowania ciągłe a nie co ok. 500 m jak twierdzi Autor (str. 22). Autor nie rozgranicza również pojęć „metodyka” i „technika” badań zamieszczając ściśle techniczne informacje dotyczące sprzętu pomiarowego w podrozdziale 1.2 pt. „Ogólna metodyka badawcza”. Pojęcie „układu krzyżowego” Autor wiąże z położeniem w terenie elektronicznej jednostki pomiarowej, które jest raczej funkcją długości kabli pomiarowych. Rozdział 1.3 pt. „Podstawowe modele ośrodka oraz ekwiwalencja” odnosi się do 2 i 3 warstwowych ośrodków 1D co stanowi radykalne zawężenie problematyki w stosunku do obiecującego tytułu. Poruszony tutaj problem jest też nieco anachroniczny i odnosi się do epoki manualnej interpretacji krzywych sondowań. Podobnie anachroniczna jest analiza ekwiwalencji dla szczególnego przypadku przekrojów trójwarstwowych 1D w sytuacji kiedy problem ten jest o wiele bardziej złożony przede wszystkim dla ośrodków 2D i 3D. Zaskoczeniem jest dla mnie ponadto stwierdzenie o „dedykowaniu wariantu AMT metody” dla badania ośrodka o niskiej oporności (str. 51).

Rozdział 2 zatytułowany „Opis badań” zawiera omówienie położenia geograficznego i regionalnej budowy geologicznej obszaru badań, a także opis wykonywanych badań.

Szczególną uwagę Autor poświęca tektonice i ewolucji geodynamicznej regionu na szerszym tle ponadregionalnym, dostrzegając dyskusyjność granicy kratonu wschodnioeuropejskiego oraz uskoku Dolska i strefie tektonicznej Odry, które są z założenia głównymi obiektami badawczymi recenzowanej pracy.

W podrozdziale 2.2 Autor opisuje metodykę i elementy techniki prac pomiarowych. Przedstawia lokalizację sondowań oraz czasy i zakresy częstotliwościowe rejestracji przebiegów czasowych a także utrudnienia w realizacji badań.

W kolejnym podrozdziale omówione zostało oprogramowania wykorzystywane do przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych. Opisany został także kod „SBI” (ang. Sharp Boundary Inversion) który nie był wykorzystywany w omawianej pracy. Autorem tej metody inwersji jest w mojej opinii T. Smith natomiast została ona w tekście przypisana R. Mackiemu.

Rozdział 3 zatytułowany „Przetwarzanie i interpretacja” zawiera opis sekwencji przetwarzania zarejestrowanych przebiegów czasowych. Jako główny sposób przetwarzania

wykorzystywana została procedura tzw. „robust remote reference processing”, jedno z najnowszych rozwiązań szeroko stosowanych w przetwarzaniu magnetotellurycznych przebiegów czasowych. Autor korzysta z różnych programów processingowych stosując je do kolejnych etapów przetwarzania obejmujących:

- ocenę i selekcję przebiegów czasowych,
- obliczanie funkcji przejścia,
- edycję wyników.

Podrozdziały 3.3-3.5 poświęcone zostały szczegółowemu opisowi procedur inwersji krzywych sondowań. Autor obszernie omawia sposoby inwersji krzywych sondowań magnetotellurycznych z wykorzystaniem modelu ośrodka 1D, 2D i 3D. Omawia i porównuje ponadto funkcjonowanie dwóch podstawowych programów i trzech najczęściej stosowanych algorytmów dla wersji 1D, wybierając jako główne narzędzie tzw. algorytm Occama. Traktując inwersję 1D pomocniczo należy uznać ten wybór za poprawny ze względu na wysoki stopień automatyzacji jego działania. Nie pozostawia on jednak zbyt dużego pola na inwencję interpretatora. Inwersja 1D została wykonana dla krzywych zarówno polaryzacji elektrycznej jak i magnetycznej.

Do inwersji 2D zastosowany został kod Rodiego i Mackiego zaimplementowany do programu WingLink. Jest to chyba najlepszy i najpopularniejszy program do inwersji 2D, więc jego wybór do realizacji tej pracy należy uznać za poprawny. Inwersje 2D wykonane zostały dla pięciu wariantów zestawów krzywych sondowań od pojedynczych polaryzacji i parametrów „tipper” poczynając na komplecie krzywych pomiarowych kończąc. Taka metodyka, bardzo pracochłonna, pozwala na gruntowną ocenę efektywności każdego podejścia szczególnie w obecności silnych zakłóceń sztucznych i zaburzeń geologicznych.

Na stronie 121 Autor ponownie opisuje algorytm SBI, który nie został w tej pracy zastosowany. Autor podaje zaskakujące i niezrozumiałe wyjaśnienia tego faktu powołując się na porównywalność tej metody z metodą inwersji 1D Marquardt-Levenberga (LSQ) która była zastosowana jedynie pomocniczo.

Sekwencję modelowań inwersyjnych Autor kończy omówieniem inwersji 3 D do której zastosowany został popularny w środowisku akademickim pakiet ModEM skojarzony z interfejsem MPI. Właściwe obliczenia poprzedzone zostały serią wstępnych testów które wg Autora (str. 122) miały na celu „znalezienie najbardziej wiarygodnego inwersyjnego modelu 3D rozkładu oporności”. Jest to stwierdzenie dla mnie niezrozumiałe, po co wykonywać

główne obliczenia skoro testy dostarczają model „najbardziej wiarygodny?” Wątpliwe wydaje się stwierdzenie że zastosowane podejście umożliwiło uzyskanie modelu oporności 3D który „w najbardziej realistyczny sposób odpowiadał założeniom geologicznym oraz geofizycznym”. Jeśli kryterium oceny uczynimy nasze założenia to „sprytne” wykonanie modelowań spełni rolę „samospełniającej się” przepowiedni. Jest to niestety jedna z głównych „bólączek” interpretacji geofizycznej.

W rozdziale 4 pt. „Przedstawienie wyników oraz dyskusja” Autor dokonuje prezentacji i analizy wcześniej wykonanych obliczeń. W ogólnych ramach interpretacji jakościowej przedstawione zostały wizualizacje przestrzennego rozkładu parametru skośności tensora impedancji oraz czterech niezmienników funkcji przejścia I_1 , I_2 , I_3 oraz I_4 w postaci 16 map dla różnych okresów (a więc długości fali elektromagnetycznej) dla każdego z powyższych parametrów. W postaci przekrojów głębokościowych dla pięciu profili pomiarowych przedstawione zostały: zmienność magnitudy i fazy parametru „tripper”, oraz rozkłady tzw. strzałek (wektorów) indukcyjnych. Dla jednego z profili pomiarowych (P1) przedstawione zostało zestawienie diagramów biegunowych impedancji. Wykonana została niewątpliwie ogromna praca nad przygotowaniem materiału porównawczego dla oceny ogólnego charakteru rozpoznawanego ośrodka geoelektrycznego. Jasna i klarowna wydaje się w tym kontekście interpretacja parametru skośności wskazująca strefy dla których należy stosować model interpretacyjny 3D. Nieoczywiste jest natomiast wydzielenie ośrodków 1D i 2D. Dobrym materiałem dla takiej analizy są diagramy kierunkowe, przedstawione niestety tylko dla jednego przekroju. Należy uznać, że potencjał informacyjny tych diagramów nie został tutaj wykorzystany. Wymiarowość ośrodka obrazuje też rozkład magnitudy parametru „tipper” przedstawiony w postaci pięciu przekrojów, co nie pozwala na ewidentne porównanie z rozkładem skośności tensora impedancji. Geofizyczna interpretacja rozkładu fazy tippera przedstawiona została niejasno, nie została zaproponowana też jakkolwiek jego interpretacja geologiczna. Rozkłady strzałek indukcyjnych są natomiast nieczytelne, zbyt małe długości wektorów nie pozwalają w praktyce na ocenę ich zróżnicowania.

Niewątpliwie interesujące są rozkłady przestrzenne inwariantów, w dużym stopniu do siebie podobne. Brak lokalizacji sondowań i zaznaczonego przebiegu stref tektonicznych na mapach (podobnie jak dla rozkładu skośności) utrudnia jednak interpretację. Autor dostrzega związek skomplikowanych rysunków anomalii z badanymi strefami tektonicznymi. Wydaje się to oczywiste dla strefy uskokowej Odry, z trudem takiego związku można dopatrzeć się jednak

dla uskoku Dolska. Jeśli rozkład ww. anomalii odzwierciedla tektonikę, to pojawiają się przynajmniej dwa kierunki strukturalne w głębokim podłożu ukośne do biegu stref Odry i Dolska, których Autor nie komentuje. Możliwe, że potencjał interpretacyjny rozkładu inwariantów ciągle czeka na solidne rozpracowanie. Przy tak rozległej analizie jakościowej dziwi brak przekrojów i map oporności oraz fazy pozornej czy ich trójwymiarowej wizualizacji w Voxlerze. Ich rozkład, w funkcji częstotliwości, a tym bardziej po przeliczeniu na głębokości daje chyba najlepszy jakościowy model rozkładu oporności w ośrodku geologicznym, będący dobrym modelem startowym w procedurach inwersyjnych.

W ramach prac przygotowawczych do interpretacji ilościowej (podrozdział 4.2) Autor zestawiał wyniki inwersji 1D za pomocą tzw. kodu Occam'a obliczonej dla polaryzacji elektrycznej i magnetycznej oraz inwariantu "oporność efektywna" w postaci przekrojów pseudo 2D dla każdego profilu, w dwu wariantach głębokościowych. Obliczenia wykonane zostały niezależnie z wykorzystaniem modułu 1D pakietu WinGlink oraz programu IX1D formy Interpex. Dla przestrzennego zobrazowania wyinterpretowanych oporności wyniki inwersji dla każdej opcji zostały zestawione w modelu pseudo 3D za pomocą programu VOXLER. Daje to mnogość modeli niezwykle trudną do analizy. Dla porównania wyników różnych opcji obliczeniowych korzystniejsze byłoby zestawienie wyników inwersji na jednym rysunku dla danego obiektu (np. dla każdego profilu i modeli pseudo 3D). Autor po wykonaniu tak gigantycznej pracy stwierdza, że inwersję 1D traktuje pomocniczo, nie wykorzystując jej wyników do konstrukcji modeli startowych dla inwersji 2D i 3D.

Kolejnym krokiem w realizacji prac interpretacyjnych było wykonanie zestawień wyników modelowań inwersyjnych 2D (rozkładów oporności). Zestawienia takie wykonane zostały dla każdego z profili w dwóch wariantach głębokościowych dla danych polaryzacji elektrycznej i magnetycznej, rozkładu parametru „tipper”, obydwu polaryzacji i kompletu wspomnianych powyżej danych. Opracowane zostały ponadto modele pseudo 3D rozkładu oporności poprzez interpolację przekrojów. Podobnie jak dla wyników inwersji 1D - brakuje zestawień wyników różnych wariantów inwersji 2D dla tego samego obiektu, co utrudnia ich wizualne porównanie i ocenę.

Ukoronowaniem prac interpretacyjnych było obliczenie inwersji 3D. Wyniki tej inwersji przedstawione zostały w postaci przekrojów 2D wzdłuż linii profilowych map rozkładu (oporności w cięciach głębokościowych) oraz wizualizacji 3D. Podobnie jak dla inwersji 2D do konstrukcji modeli startowych nie zostały wykorzystane wyniki inwersji wcześniejszych

(niższych) generacji. Wykorzystany został standardowo model jednorodnej półprzestrzeni, co uważam za narzucone samoograniczenie, powodujące zubożenie wyników.

Nie jest też oczywista wyższość inwersji 3D nad 2D czy 1D w wiarygodnym odtworzeniu rozkładu oporności (str. 196). Na wyniki inwersji wpływa szereg czynników związanych z jakością danych, budową geologiczną i gęstością siatki interpolacyjnej czy też stabilność wykorzystywanych algorytmów. Potwierdzenie takiego założenia możliwe jest np. poprzez modelowania proste i inwersję danych syntetycznych. Twierdzenie, że wskazany sposób inwersji daje najbliższy rzeczywistości rezultat geologiczny graniczy z „pobożnym życzeniem”. Na mapach oporności wygenerowanych z modelu 3D wyraźnie widoczna jest skomplikowana tektonika obszaru badań. Rozkład oporności jest natomiast zaskakująco zbieżny z rozkładami przestrzennymi wartości modułów inwariantów. Rozkłady oporności dla głębokości mniejszych niż 1000-1500 m wydają się niewiarygodne ze względu na najkrótszy okres fali MT (6 s) uwzględniony w obliczeniach.

W rozdziale 5 Autor przedstawia podsumowanie pracy i wyciągnięte wnioski. Zaprezentowane wnioski oceniam jako poprawne zwłaszcza dla geofizycznej części pracy, chociaż są może trochę zbyt ostrożne i zachowawcze. Pominięty chociażby został wpływ kroku pomiarowego na możliwość wykartowania i dokładność rozpoznania z reguły wąskich stref tektonicznych. Wnioski geologiczne są w mojej opinii zbyt ogólnikowe i nie wykorzystują uzyskanych wyników przede wszystkim w odniesieniu do badanego terytorium. Autor ucieka natomiast w dosyć niejasne geodynamiczne rozważania ponadregionalne dla których lokalny, dla tej skali, rozpoznawany obszar nie może dać przekonującego uzasadnienia.

Ogólna ocena rozprawy

Wymieniony w tytule rozprawy doktorskiej problem dotyczy zagadnienia ważnego dla możliwości wykorzystania metod elektromagnetycznych, w regionalnych badaniach geologicznych. Wyniki wykonanych badań dostarczają obszernego materiału do porównawczych badań efektywności szeregu metod opracowania i analizy danych i przyczyniają się do rozwoju metodyki badań strukturalnych z zastosowaniem metod elektromagnetycznych. Generują także obszerny zbiór danych przeznaczonych do wielowariantowych interpretacji geologicznych obszaru monokliny przedsudeckiej. Zweryfikowane i przedyskutowane rozwiązania metodyczne znajdą zapewne zastosowanie w kolejnych regionalnych badaniach podobnego typu. Stanowią także przesłanki ich

wykorzystania w zagadnieniach stosowanych, tzn. w problematyce półszczegółowych i szczegółowych badań prospekcyjnych i złożowych. Uzasadnione jest podjęcie badań na bazie zaprezentowanych wyników nad ich wykorzystaniem w ośrodkach o złożonej budowie geologicznej i w konsekwencji skomplikowanej charakterystyce rozkładu przewodności.

Godna uwagi jest kontynuacja badań nad wykorzystaniem niezmienników w pracach interpretacyjnych. Nie mniej istotne, jest wdrożenie do praktyki prospekcyjnej inwersyjnych modelowań 3D. Przedstawiona praca doktorska wskazuje na szereg problemów związanych z powyższymi zagadnieniami i sugeruje metody ich rozwiązania. Wykonując powyższą pracę Autor udowadnia umiejętność korzystania z nowoczesnych narzędzi badawczych i wnikliwej analizy badanego problemu.

Rozprawę doktorską oceniam **pozytywnie**. Stanowi ona w sumie logiczną całość, chociaż Doktorant zetknął się z bardzo różnymi problemami tj. tektonika regionu na tle badań ponadregionalnych i jej przełożenie na obraz geofizyczny, teoretyczne podstawy elektrodynamiki klasycznej, aplikacja licznych rozwiązań teoretycznych i numerycznych w realizacji prac polowych oraz przetwarzania danych pomiarowych i interpretacji sondowań magnetotellurycznych. W kolejnych rozdziałach Doktorant zmierza do rozwiązania postawionych zadań i wyników finalnych. Wykonane modelowania inwersyjne 1D, 2D i 3D oraz obszerna analiza porównawcza szeregu algorytmów inwersyjnych wykazują cechy oryginalności naukowej i są niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta.

Układ pracy jest przejrzysty i logiczny, jest ona bogato ilustrowana licznymi rysunkami związanymi z omawianymi zagadnieniami i prezentującymi wyniki obliczeń. Praca jest wizualnie ładna, strona graficzna jest staranna i czytelna, chociaż do staranności korekty tekstu można mieć pewne zastrzeżenia. Zestawienie zauważonych błędów i uwagi o charakterze edycyjnym przekażę Autorowi do korekty przed ewentualną publikacją pracy. Zalety pracy oraz uwagi krytyczne przedstawiam przy okazji recenzowania poszczególnych jej rozdziałów. Najważniejsze z nich przedstawiam poniżej.

Zalety pracy

- Podstawową zaletą recenzowanej pracy jest wykonanie rozległej analizy porównawczej szeregu rozwiązań numerycznych dla inwersyjnych modelowań 1D, 2D i 3D sondowań magnetotellurycznych z udziałem danych magnetowariacyjnych w kontekście ich wykorzystania w regionalnych, głębokich badaniach tektonicznych.

- W pracy wykonana została analiza porównawcza trzech algorytmów inwersji 1D dla trzech różnych zestawów danych oraz ocena warunków ich stosowalności.
- Przedyskutowane zostały także efektywność i warunki realizacji oraz zalety i wady inwersji 1D, 2D i 3D w zastosowaniu do odtworzenia przestrzennego rozkładu oporności.
- Wyniki pracy tworzą podstawy do dalszych badań metodycznych i aplikacyjnych dla grupy metod magnetotellurycznych.
- Rozprawa zawiera przykłady wykorzystania modelowań inwersyjnych 1D, 2D i 3D danych magnetotellurycznych, potwierdzające efektywne opanowanie przez Autora techniki i metodologii modelowań jako skutecznego narzędzia analizy danych elektromagnetycznych.
- W wyniku modelowań inwersyjnych wygenerowane zostały trójwymiarowe, regionalne modele ośrodka geoelektrycznego centralnego segmentu monokliny przedsudeckiej, pomocne dla wyjaśnienia regionalnych zagadnień geofizycznych i przydatne dla potencjalnych interpretacji i analiz tektonicznych.
- Podjęta została próba geologicznej interpretacji trójwymiarowego rozkładu oporności.

Uwagi krytyczne

- Niewątpliwym mankamentem pracy jest nadmierna jej obszerność a tym samym nierówne traktowanie różnych jej fragmentów skutkujące często pobieżnym charakterem analizy oraz omawianiem zagadnień zbędnych dla spójności pracy i w niej niewykorzystywanych.
- Wykonane analizy porównawcze mają charakter jakościowy i opierają się na arbitralnej opinii Autora bazującej na wizualnej analizie map i przekrojów. Wykonane zestawienia map i przekrojów nie są „przyjazne” dla analiz porównawczych, lepszym rozwiązaniem byłoby zestawienie wyników różnych badań dla tego samego obiektu np. przekroju, głębokości cięcia czy długości okresu fali elektromagnetycznej.
- Zbyt pobieżnie potraktowana została analiza porównawcza warunków stosowania i efektywności inwersji dla różnych stopni złożoności modelu interpretacyjnego (1D, 2D, 3D), jest to zagadnienie o kapitalnym znaczeniu dla rutynowego prowadzenia badań geoelektrycznych zwłaszcza aplikacji stosowanych, tektonicznych i prospekcyjnych.

- Pominięta została w praktyce dyskusja wpływu nieregularnego rozkładu przestrzennego danych pomiarowych na wyniki modelowania inwersyjnych wyraźnie widocznego na przekrojach i mapach w postaci anomalii pojawiających się pomiędzy punktami pomiarowymi.
- Niewykorzystane zostały modele inwersyjne 1D i 2D do konstrukcji modeli startowych dla wyższych stopni wymiarowości.
- Tektoniczna interpretacja modeli inwersyjnych rozkładu oporności jest zbyt mocno uproszczona, w interpretacji tej nie zostały wykorzystane wnioski z analizy jakościowej danych magnetotellurycznych.
- W pracy nie podjęto próby weryfikacji uzyskanych wyników i wyciągniętych wniosków dla znanego modelu magnetotellurycznego np. na danych syntetycznych.

3. SPEŁNIANIE WYMOGÓW STAWIANYM PRACOM DOKTORSKIM

3.1. Zasadność wyboru tematu rozprawy

Szybki rozwój metod geofizycznych doprowadził do pojawienia się licznych nowych, narzędzi informatycznych. Jednocześnie prace badawcze, w tym poszukiwania surowcowe prowadzone są w coraz bardziej złożonych warunkach. Taka sytuacja prowadzi do poszukiwania nowych metod badawczych, w tym sposobów interpretacji danych geofizycznych, również danych elektromagnetycznych. Istotną z tego punktu widzenia jest ocena efektywności warunków stosowalności proponowanych rozwiązań.

Względnie niskie koszty badań magnetotellurycznych oraz ich zasięg głębokościowy predysponują tą metodę do wykorzystania w głębokich regionalnych badaniach tektonicznych. Wobec braku weryfikacji wyników takich badań przez wiercenia niezwykle istotne jest wypracowanie optymalnej metodyki prac pomiarowych oraz przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uznaję wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr inż. Szymona Oryńskiego za uzasadniony potrzebami nauki i prac prospekcyjnych.

3.2 Ocena tezy rozprawy

Tezy pracy w niebezpośredniej formie zostały przedstawione w streszczeniu. Pożądane jest, w mojej opinii, ich przedstawienie w trakcie publicznej obrony.

3.3 Zagadnienia naukowe samodzielnie rozwiązane przez Doktoranta

W rozprawie można dostrzec szereg nowatorskich elementów w odniesieniu do rozwiązań metodycznych i regionalnych interpretacji geologicznych. Pozwoliły one na wykonanie przez Doktoranta wielokierunkowych analiz i uzyskanie oryginalnych wyników. Na ich podstawie sformułował On szereg oryginalnych wniosków o znaczeniu naukowym i potencjalnie praktycznym.

Najważniejsze zagadnienia rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta przedstawiam powyżej omawiając zalety pracy, są to:

- Opracowanie przestrzennych modeli rozkładu oporności w ośrodku geologicznym na podstawie wyników inwersji 1D, 2D, 3D,
- podjęcie próby tektonicznej interpretacji wymodelowanego rozkładu oporności;
- wykonanie obszernej analizy porównawczej wyników inwersji dla różnych metod i zestawów danych
- wypracowanie schematu postępowania w interpretacji przestrzennej sondowań magnetotellurycznych.

3.4 Ocena poprawności przeprowadzonych analiz, uzyskanych wyników i wniosków

W rozwiązaniu analizowanych problemów Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki geofizycznej, geologicznej oraz umiejętnością korzystania z zaawansowanych narzędzi informatycznych. Uważam, że wszystkie etapy badawcze realizowane w rozprawie doktorskiej były realizowane prawidłowo. Stąd uzyskane wyniki należy uznać za wiarygodne. Opinie i wnioski jakie pojawiają się w treściach rozprawy oparte są w większości na uzyskanych wynikach analiz i obliczeń.

3.5 Ocena znajomości przedmiotu badań przez Doktoranta

W mojej opinii mgr inż. Szymon Oryński wykazał się obszerną i bardzo dobrą znajomością specjalistycznych zagadnień związanych z szeregiem złożonych problemów z zakresu metod

geofizycznych, szczególnie metod elektromagnetycznych oraz umiejętnością korzystania z techniki komputerowej. Wiedza ta pozwoliła Doktorantowi na uzyskanie interesujących i oryginalnych wyników, posiadających wartość naukową i potencjalnie praktyczną. Znajomość zagadnienia będącego przedmiotem rozprawy doktorskiej potwierdza także przytoczona specjalistyczna literatura zagraniczna i krajowa, którą Doktorant wykorzystał w treści rozprawy. Potwierdza to jego zainteresowanie postępem w obszarze badań, którego dotyczy problematyka rozprawy. Na tej podstawie oceniam znajomość przedmiotu badań przez Doktoranta mgr inż. Szymona Oryńskiego jako bardzo dobrą.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej pt. **„Analiza głębokich struktur litosfery w obrębie stref uskokowych Dolska i Odry, w wyniku zintegrowanej interpretacji 1-D, 2-D oraz 3-D danych magnetotellurycznych”** autorstwa mgr inż. Szymona Oryńskiego stwierdzam, że Doktorant:

- potwierdził umiejętność samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz organizacji i prowadzenia procesu badawczego dla ich efektywnego rozwiązania wraz z analizą i prezentacją wyników;
- posiada bardzo dobre przygotowanie geofizyczne, geologiczne i informatyczne dla realizacji nowych i złożonych problemów naukowo-badawczych;
- zrealizował zaplanowany program badawczy, który zawiera nowe elementy poznawcze i stwarza perspektywę efektywnego wykorzystania praktycznego;
- wykazuje wysoki poziom wiedzy w obszarze dyscypliny geofizyka, szczególnie w zakresie metod geoelektrycznych.

Rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. **Szymona Oryńskiego** spełnia więc wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr inż. **Szymona Oryńskiego** do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Kraków, 29.01.2019 r.

dr hab. inż. Michał Stefaniuk
prof. nadzw. AGH

