

dr hab. inż. Jerzy Dec
Katedra Geofizyki
Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Rafała Czarnego pt. „Ocena budowy i właściwości sprężystych górotworu metodą interferometrii sejsmicznej”.

I. Informacje wstępne

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Rafała Czarnego zrealizowana została w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska. Tematyka poruszona w omawianej pracy jest związana z geofizyką, jednak uzyskane wyniki i praktyczne ich zastosowania są ściśle związane z wybraną dyscypliną. Dlatego wybór dyscypliny uważam za uzasadniony.

Cała praca Pana mgra inż. Rafała Czarnego posiada objętość 122 stron. Składa się z części zasadniczej, części załączników, streszczenia i abstraktu. Zasadnicza część to właściwa rozprawa doktorska obejmująca 95 stron bogato ilustrowanego tekstu i 9 stron spisu literatury. Spis literatury zawiera 126 pozycji w tym 6 pozycji literaturowych z udziałem Doktoranta. W grupie publikacji z udziałem Doktoranta odnaleźć można dwie bardzo wartościowe pozycje zamieszczone w renomowanych czasopismach z listy A tj. w Pure and Applied Geophysics oraz w International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.

Organizacja tekstu rozprawy tworzy czytelny układ opisu pracy badawczej. Tekst rozprawy został podzielony na 7 głównych rozdziałów. Dwa pierwsze stanowią wstęp, omówienie celu i zakresu pracy oraz tezy.

W rozdziale trzecim Autor szeroko omawia metodę interferometrii sejsmicznej. Przedstawia w nim rys historyczny metody, podstawy matematyczno-fizyczne w tym opis funkcji Greena, a także omawia zagadnienie tzw. stacjonarności fazy oraz naturę i charakterystykę szumu sejsmicznego. W rozdziale tym zawarte są także bardzo ciekawe przykłady zastosowania metody interferometrii sejsmicznej zaczerpnięte z literatury światowej.

Kolejny rozdział stanowi omówienie propagacji fal powierzchniowych ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska dyspersji, które jest podstawowym zagadnieniem związanym z dalszymi rozważaniami prowadzonymi przez Autora.

Rozdział piąty to szerokie omówienie metodyki badań wykonanych przez Doktoranta. Autor zaproponował aby badania budowy i właściwości sprężystych górotworu naruszonego działalnością górniczą za pomocą metody interferometrii sejsmicznej odbywały się w czterech etapach obejmujących kolejno: rejestrację danych sejsmicznych, przetwarzanie danych, interpretację i wizualizację wyników oraz analizę wyników badań i ich błędów.

Najobszerniejszy, szósty rozdział stanowi właściwe osiągnięcie Doktoranta. Znajdujemy tu omówienie badań dla określania budowy i właściwości sprężystych górotworu na terenach górniczych za pomocą metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego. Autor zawarł w nim opis wykonanych przez siebie prac eksperymentalnych w rejonach KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch Jastrzębie i KGHM ZG Rudna. Przedstawione są też wyniki interpretacji i ich korelacja z sytuacją górniczą oraz wartościami osiadania powierzchni terenu.

Rozdział ostatni zawiera podsumowanie i wnioski. W konkluzjach autor wskazuje na przydatność metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego do oceny budowy i właściwości sprężystych górotworu naruszonego działalnością górniczą. Zwraca też uwagę, że w celu rozwiązania przyjętego zadania badawczego należy stosować specjalną metodykę badań z wykorzystaniem procedur stosowanych w sejsmologii, sejsmice poszukiwawczej oraz sejsmice inżynierskiej.

Tekst rozprawy tworzy logiczną całość i nie stwarza problemów z zapoznaniem się z jego treścią. Ogólne wrażenie co do konstrukcji rozprawy doktorskiej i opracowania edycyjnego jest bardzo dobre.

II. Analiza pracy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Rafała Czarnego ma charakter badawczo-praktyczny. Temat rozprawy jest ważny z poznawczego i praktycznego punktu widzenia.

Aspekt badawczy związany jest tu głównie z naturą pola falowego związanego z szumem sejsmicznym, określaniem kierunkowości szumu i jego charakterystyki spektralnej. Ważnym zagadnieniem jest też dobór pasma częstotliwościowego dla określenia krzywych dyspersji a następnie realizacji procesu inwersji.

Natomiast aspekt praktyczny pracy dotyczy identyfikacji partii górotworu o anomalnych właściwościach wywołanych w tym przypadku działalnością górniczą. Jest to niezmiernie ważne zagadnienie z punktu widzenia ochrony powierzchni i infrastruktury oraz predykcji zagrożeń związanych z rozwojem stref deformacji i towarzyszących im zjawisk sejsmiczności indukowanej.

Sformułowany przez Doktoranta w rozdziale drugim cel rozprawy to pokazanie przydatności metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego do analizy budowy i właściwości sprężystych górotworu naruszonego działalnością górniczą. Dla realizacji celu badań Autor sformułował dwie tezy:

1. interferometria sejsmiczna jest pomocnym narzędziem w rozpoznaniu budowy i właściwości sprężystych górotworu naruszonego działalnością górniczą,

2. określenie zmian prędkości fali poprzecznej za pomocą metody interferometrii sejsmicznej pozwala na wyznaczenie stref osłabienia lub wzmocnienia w górotworze, które można korelować z efektami procesów geomechanicznych.

Powyższe tezy są sformułowane bardzo trafnie a osiągnięte przez Doktoranta wyniki weryfikują je w pełni. Wykorzystanie bowiem szumu sejsmicznego o bardzo niskich częstotliwościach pozwala na osiągnięcie dużej głębokości prospekcji co nie jest możliwe przy wykorzystaniu źródeł aktywnych. Pole prędkości fal S, którego wartości związane są głównie z właściwościami szkieletu skał, dobrze koreluje z reżimem naprężeń panującym w górotworze. Uzyskując więc wgłębny rozkład wartości prędkości fal S Autor mógł obrazować strukturę górotworu i z dużą ufnością wnioskować o stanie naprężeń.

Analizując rozprawę krok po kroku dochodzi się do przekonania, że praca jest napisana bardzo logicznie i przejrzysto. Wprowadzenie i wstęp teoretyczny w dostępny sposób zaznajamiają czytelnika z poruszaną przez Doktoranta problematyką. Tak cytowana literatura jak i zawarta w tekście treść wskazuje na bardzo dobre przygotowanie teoretyczne Autora, znajomość tematyki i warsztatu badawczego.

Opracowana przez Pana mgra Czarnego, a opisana w rozdziale 5, metodyka badań polowych, przetwarzania i interpretacji pozyskanych danych jest poprawna i rzetelna.

Przedstawione w rozdziale 6 wyniki badań obrazują dwu i trójwymiarowe rozwiązania dla pola prędkości fali S. Autor wykorzystuje tu rozwiązania dla krzywych dyspersji prędkości fazowej i grupowej. To drugie w praktyce inżynierskiej dla źródeł aktywnych jest spotykane rzadziej. Dlatego wykorzystanie tego rodzaju dyspersji zasługuje na uwagę, szczególnie, że w oparciu o krzywe dyspersji prędkości grupowej Doktorant wykonał trójwymiarowe tomograficzne odwzorowanie pola prędkości fali S. Przedstawione przekroje i mapy prędkości charakteryzują się wartościami odpowiadającymi właściwościom petrofizycznym skał w danym rejonie i na danej głębokości. Rozwiązania te można więc uznać za poprawne, zwłaszcza, że Autor dokonuje też analizy błędów estymacji wartości prędkości.

Zobrazowane rozkłady pola prędkości 2D i 3D Doktorant odnosi do sytuacji geologiczno-górnictwej. Pole prędkości w interwale głębokości występowania skał skonsolidowanych wykazuje korelację ze strefami spodziewanych deformacji wgłębnych i zwiększonych wartości osiadania powierzchni terenu.

W konkluzjach Doktorant stwierdza, że metoda interferometrii sejsmicznej z użyciem szumu sejsmicznego pozwala zobrazować deformacje w górotworze naruszonym eksploatacją górnictw. Twierdzenie to jest słuszne jednak wymaga zachowania pewnej powściągliwości. Bo jak zauważa dalej sam Autor, problemem jest dobór schematu obserwacji i określenia kierunkowości źródła szumu sejsmicznego, szczególnie w przypadku rozpoznania 3D właściwości ośrodka. Zarówno schemat jak i kierunkowość szumu mają bowiem istotny wpływ na jakość obliczanych korelogramów, a tym samym na charakter krzywych dyspersji i końcowe rozwiązanie dla pola prędkości.

Podjęta przez Autora tematyka jest trudna i zarazem nowatorska. Analizując pracę i złożoność tematyki nabiera się przeświadczenia, że pierwszorzędnym wyzwaniem jest metodyka prowadzenia obserwacji oraz bardzo skrupulatna analiza charakteru szumu, jego cech i kierunkowości. Zaproponowane przez Autora rozwiązania wychodzą na przeciw tym wyzwaniom.

III. Ocena rozprawy doktorskiej

Doktorant podjął się rozwiązania zagadnienia o wysokim stopniu trudności, które w znaczący sposób przyczynia się do postępu w zakresie wykorzystania interferometrii sejsmicznej.

W moim przekonaniu, głównym osiągnięciem rozprawy Pana mgra inż. Rafała Czarnego jest opracowanie specjalnego algorytmu przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych dla metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego. Na szczególne podkreślenie zasługuje metodyka przetwarzania i interpretacji danych w przypadku obserwacji z zastosowaniem powierzchniowej sieci odbiorników. Przedstawiony przez Autora schemat przetwarzania prowadzi w tym przypadku do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania pola prędkości.

Według mojej wiedzy Doktorant jest również autorem algorytmu zastosowanego w oprogramowaniu wykorzystywanym do analizy takich danych. Podstawę merytoryczną do opracowania tego algorytmu tworzyły różnego rodzaju publikacje i doświadczenia własne Autora wynikające z prowadzonych prac badawczych. Jest to znaczące osiągnięcie, gdyż w kraju nikt nie zajmuje się tego rodzaju badaniami, a na świecie jedynie kilka ośrodków naukowych rozwija tą tematykę.

Ponadto do niewątpliwych osiągnięć pracy należy zaliczyć pozytywną weryfikację nowej metody w warunkach kopalń węgla kamiennego i rud miedzi. Uzyskane wyniki są perspektywiczne i mają duże znaczenie dla monitorowania procesu osiadania rozwijającego się w górotworze oraz procesów prowadzących do wystąpienia silniejszych wstrząsów indukowanych eksploatacją. Szczególnie to drugie zagadnienie ma duże znaczenie dla oceny wystąpienia tzw. wstrząsów regionalnych, związanych z procesami naprężeniowo-deformacyjnymi rozwijającymi się w większych objętościach górotworu.

Zaangażowanie badawcze i twórcza działalność Doktoranta znalazły odzwierciedlenie w publikacjach związanych z wynikami zaprezentowanych badań. Jak już wspomniano, Doktorant jest aktualnie współautorem publikacji w uznanych czasopismach o zasięgu światowym tj. w *Pure and Applied Geophysics* oraz w *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.

Rozprawa pod względem sposobu opracowania edycyjnego, w tym graficznego, jest bardzo dobra. Zauważa się staranność Autora i umiejętność logicznego przedstawienia kolejnych etapów postępowania związanego z przetwarzaniem danych i analizą wyników.

Recenzent nie zgłasza ważniejszych uwag krytycznych do zawartości treści merytorycznej rozprawy. Jednak mimo zauważalnej u Doktoranta umiejętności w publikowaniu tekstów w pracy można zauważyć kilka drobnych potknięć.

Mało istotne zastrzeżenia dotyczą rozdziału 4, w którym w nieco skrótowy sposób Autor omówił naturę propagacji fal powierzchniowych pomijając kwestie uwarunkowań ich powstawania oraz ich zasięgu głębokościowego w aspekcie prospekcyjnym. Dla czytelnika mniej obeznanego z poruszaną tematyką rozwinięcie tego tematu mogłoby stanowić przystępne wprowadzenie do przedstawionych dalej zagadnień.

W tekście można też spotkać kilka lapsusów językowych jak np. na str. 40 „Badanie zmienności gęstości widma amplitudowego sprowadza się do obliczenia kwadratu modułu dyskretnej transformaty Fouriera”.

Również zagadnienie wybielania spektralnego wymaga wyjaśnienia. Nie jest zrozumiałą wzór 5.3 na str. 43 i jego opis.

Wniesione powyżej uwagi mają charakter marginalny i w żaden sposób nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

IV. Wnioski końcowe

Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgra inż. Rafała Czarnego pt. „Ocena budowy i właściwości sprężystych górotworu metodą interferometrii sejsmicznej” jest w moim przekonaniu oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego.

Autor rozprawy doktorskiej, wykazał dużą wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie swojej dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Rozprawa ta w pełni odpowiada wymogom określonym w art.13 Ustawy z dnia 14.03.2003r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2003.65.595 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie o dopuszczenie Pana mgra inż. Rafała Czarnego do dalszego postępowania w ramach przewodu doktorskiego.

