

dr hab. inż. Maria Ciechanowska  
ul. Chopina 7/6  
30-047 Kraków

Kraków, 10.09.2021 r.

**Recenzja**  
**pracy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Baudzisa**  
**pt.:**  
***Udoskonalona metodyka interpretacji otworowych***  
***profilowań oporności obciążonych efektem Groningen***

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana pod kierownictwem naukowym promotora Pani prof. dr hab. inż. Jadwigi Jarzyny na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz promotora pomocniczego – dr. Pawła Pomianowskiego.

Recenzja ta, zgodnie z art. 186 Ustawy z dnia 20.07.2018 r. pn.: *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późn. zmianami) odpowiada na pytanie, czy przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania dotyczące umiejętności samodzielnej realizacji pracy naukowej przy wykorzystaniu ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w danej dyscyplinie i czy przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w tym w zakresie zastosowania wyników badań własnych w praktyce przemysłowej.

**Strona formalna oceny**

Ocenę rozprawy wykonałam na podstawie decyzji Rady Dyscypliny „Nauki o Ziemi i Środowisku” AGH z dnia 28.06.2021 r. o powołaniu mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Baudzisa oraz pisma ww. Rady Dyscypliny z dnia 01.07.2021 r. (WGGIOŚ-dz.0151-239/2021).

## **Charakterystyka ogólna rozprawy**

Praca zawiera 5 rozdziałów wraz ze wstępem, ujętych łącznie na 162 stronach, obejmujących 81 rysunków oraz 15 tabel. Spis literatury składa się ze 171 pozycji, wydanych w bardzo szerokim przedziale czasowym, od roku 1942 do 2021, co świadczy nie tylko o znajomości najnowszych rozwiązań pomiarowo-interpretacyjnych geofizyki otworowej, ale także o posiadaniu wiedzy o pracach prekursorów, m.in. polskiej geologii i geofizyki, doceniając ich wkład w kreowaniu poszukiwań krajowych złóż węglowodorów.

Praca została napisana niezwykle przejrzysto, w sposób zrozumiały, pomimo tematyki bardzo specjalistycznej. Układ logiczny został zaprojektowany w sposób przemyślany, umożliwiając śledzenie etapów rozwoju metod elektrycznych, ich ocenę, wpływ warunków geologicznych i wyposażenia sprzętowego na uzyskiwane dane. Ogrom wiedzy i doświadczenia Doktoranta w przemysłowym zastosowaniu różnych metod geofizycznych dostrzegana jest w każdym elemencie rozprawy.

## **Cel rozprawy, przedmiot badań**

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metodyki pomiarowo-interpretacyjnej, dotyczącej profilowań oporności dalekiego zasięgu, których wskazania w określonych warunkach litostratygraficznych dawały zniekształcone rozwiązania interpretacyjne przy poszukiwaniu złóż węglowodorów, wskazując na podwyższone nasycenia formacji geologicznych. Może to skutkować przeszacowaniem zasobów węglowodorów danej struktury.

Zjawisko to nazwane efektem Groningen występuje podczas rejestracji profilowań sondami dalekiego zasięgu (LLD), w utworach charakteryzujących się niskimi opornościami, ekranowanych od stropu warstwami wysokoopornościowymi o znacznej miąższości. Takie ekranowanie rozkładu pola elektromagnetycznego w określonych warunkach geologicznych powoduje, że wskazania sondy LLD są zawyżone.

Efekt Groningen jest charakterystyczny dla szeregu obszarów występowania złóż węglowodorów, w tym dla Nizy Polskiego, który Doktorant wytypował jako rejon doświadczalny. W rejonie tym efekt Groningen obserwowany jest w przekroju utworów permskich: czerwonego spągowca, dolomitu głównego i wapienia cechsztyńskiego. Wyniki interpretacji profilowań otworowych w stropowej partii piaskowców czerwonego spągowca wskazywały na pozorne ich nasycenie węglowodorami, co było skutkiem

ekranowania rozkładu pola elektromagnetycznego przez nadległe miąższe utworu węglanowe.

Problem ten obserwowany był od szeregu lat. Rozwój profilowań elektrycznych podyktowany był przede wszystkim dążeniem do doskonalenia zarówno przyrządów pomiarowych, jak i metodyk interpretacyjnych, by można było rejestrować oporności zbliżone do rzeczywistych, jak i by najwierniej powiązać je z wielkością przestrzeni porowej i jej nasyceniem.

Należy podkreślić, że pomiary oporności sondami typu Dual Laterolog (DLL) wykonywane są w Polsce od szeregu lat i stanowią do dzisiaj podstawową metodę pomiarową dla przekrojów geologicznych o dużych kontrastach opornościowych. Metodyka zaś pomiarowo-interpretacyjna podlegała ciągłemu doskonaleniu (m.in. poprzez dobór zestawu sond czy system poprawek).

### **Ocena rozprawy doktorskiej**

W rozdziale 1 – Doktorant przedstawił cel pracy związany z eliminacją na profilowaniach elektrycznych, wykonywanych sondami Dual Laterolog, efektu Groningen. Od szeregu lat zjawisko to utrudniało przemysłowe prace geofizyczne w aspekcie określenia nasycenia skał i było powodem podejmowania decyzji o kolejnych nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, czy o zakupie nowego rodzaju sond.

W rozdziale 2 – omówiono stan wiedzy w zakresie otworowych profilowań oporności różnego rodzaju sondami, ze szczególnym uwzględnieniem laterologów dalekiego zasięgu.

W dokonanym przeglądzie w skali czasowej można prześledzić rozwój metod elektrycznych, poczynając od stosowania w okresie lat 60–90 XX wieku:

- uproszczonego sondowania potencjałowo-gradientowego w skałach klastycznych,
- rozszerzonego zestawu sond (5 sond gradientowych i 1 potencjałowa) w skałach węglanowych.

Największa kompleksowa transformacja sprzętowa w krajowej geofizyce miała miejsce w latach 1991–2000, gdy grupy terenowe zostały wyposażone w nowoczesne sondy produkcji zachodniej, a interpretatorzy materiałów sejsmicznych i otworowych w odpowiednie specjalistyczne oprogramowanie. W tym też okresie powstaje najwięcej publikacji cytowanych w niniejszej rozprawie, dokumentujących zmiany technologiczne, jak i rozwój nauki w tej dziedzinie.

I pomimo nowego sprzętu i doskonalonych metodyk pomiarowo-interpretacyjnych sprawa eliminacji efektu Groningen pozostawała w różnym stopniu aktualna, w zależności od warunków geologicznych.

W rozdziale tym na podkreślenie zasługuje faktograficzne niemal podejście Autora do udokumentowania rozwoju metod elektrycznych geofizyki otworowej, z podaniem licznych, świetnie opracowanych przykładów graficznych, w tym schematów sond, zestawień profilowań wykonanych różnymi sondami, schematów układów pomiarowych, czy przykładów zarejestrowanego efektu Groningen. W czasie gdy rynek poszukiwań dla przemysłu naftowego będzie się kurczył na rzecz innych nośników energii, takie udokumentowanie metod pomiarowych ma bardzo duże znaczenie.

Rozdział 3 – zawiera zarys budowy geologicznej i warunki występowania złóż węglowodorów na Niżu Polskim. Rejon ten został wybrany jako poligon doświadczalny dla prac interpretacyjnych, prowadzonych w ramach doktoratu. Przedstawiono mapy lokalizacji złóż węglowodorów w utworach czerwonego spągowca oraz dolomitu głównego i wapienia cechsztyńskiego.

Rozdział 4 – poświęcony jest przetwarzaniu i interpretacji profilowań oporności wykonanych na polskich złożach laterologami różnego zasięgu, przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania, będącego własnością Geofizyki Toruń S.A. Jest to bardzo interesująca część rozprawy, dotycząca największego polskiego złoża węglowodorów BMB (Barnówko–Mostno–Buszewo), dla którego Doktorant samodzielnie wykonał reinterpretację nasycenia na materiałach archiwalnych z części otworów zlokalizowanych na złożu BMB, a także sprawował nadzór merytoryczny podczas rejestracji pomiarów oraz ich interpretacji. Łącznie do analizy wybrano 42 otwory odwiercone w latach 1993–2015, w których efekt Groningen był widoczny w utworach dolomitu głównego. Dla części z tych otworów, po dłuższym już okresie eksploatacji, można było zweryfikować poprawność oceny stopnia nasycenia skały zbiornikowej, dokonanej na etapie interpretacji litologiczno-złożowej materiałów geofizyki otworowej.

Doktorant na podstawie szczegółowej i kompleksowej analizy różnych zestawów sond o różnym zasięgu do pomiarów elektrycznych, przy uwzględnieniu wyników testów produkcyjnych, sformułował m.in. istotne wnioski, że:

- w otworach o przemysłowym nasyceniu węglowodarami efekt Groningen nie występuje na pomiarach, natomiast jest on widoczny na profilowaniu DLL w utworach

o znacznym współczynniku zawodnienia,  $S_W$ . Można przyjąć graniczną wartość  $S_W = 35\%$  dla utworów dolomitu głównego, powyżej której ten efekt nie występuje;

- efekt ekranowania w profilach cechsztyńskich jest obserwowany około 40–46 m od bariery wysokoopornościowej.

Podobnie, jak w rozdziale poprzednim, uwagę zwraca dobrze dobrana i starannie opisana szata graficzna. Liczne przykłady wyników litologiczno-złożowych, przy wykorzystaniu w interpretacji różnego typu sond opornościowych, dokumentują bezwzględnie poprawność wykonanych analiz i wnioski.

Rozdział 5 – Autor omawia efektywną metodykę pomiarowo-interpretacyjną dotyczącą otworowych profilowań oporności laterologami o dalekim zasięgu.

Przedstawiono program „Poprawki LLD\_LLS”, który w pierwotnej wersji powstał w wyniku współpracy AGH z Geofizyką Toruń S.A. w ramach projektu pn.: *Modelowanie odpowiedzi sterowanych sond do profilowania oporności w zróżnicowanych ośrodkach geologicznych dla poprawienia wyznaczania oporności rzeczywistej warstw.*

Do ww. programu Doktorant wprowadził szereg zmian i uzupełnień celem poprawy jego funkcjonalności oraz przetestował go na wynikach pomiarów wykonanych sondami, będącymi na wyposażeniu Geofizyki Toruń S.A. Zaprezentowane w pracy wyniki tego testowania potwierdzają poprawność działania algorytmu i otrzymane dane oporności strefy nienaruszonej odzwierciedlają charakter nasycenia utworów, zarówno dolomitu głównego, jak i czerwonego spągowca.

W pracy przedstawiono także szerokie możliwości wykorzystania metod sztucznej inteligencji czy analizy klastrowej do interpretacji litologiczno-złożowej, zwłaszcza w rejonach już nieco rozpoznanych, gdy dostępne są materiały archiwalne. Skuteczność metod statystycznych Autor potwierdził na złożu BMB w utworach dolomitu głównego (Buszewo-7, 12, 13).

Prace związane z testowaniem programu wymagają szerokiej wiedzy o samym złożu, o jego parametrach petrofizycznych czy złożowych. I są to zagadnienia niejednokrotnie bardzo trudne do opisanego m.in. przez wielowymiarowość niektórych charakterystyk. A równocześnie uzyskanie wartości nasyceń zbliżonych do rzeczywistych ma bezpośrednie przełożenie na wielkość obliczanych zapasów.

Stąd też uważam, że tematyka samego doktoratu jest niezwykle istotna pod względem użytecznym, a wyniki uzyskane w pracy dowodzą skuteczności przeprowadzonych analiz i badań, które oceniam bardzo wysoko.

Wnioski i uwagi są prawidłowe, wynikają bezpośrednio z przeprowadzonych prac interpretacyjnych i badań.

### **Ocena końcowa**

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (udoskonalenie metodyki interpretacji otworowych profilowań oporności obarczonych efektem Groningen) o charakterze badawczym, z dużym akcentem położonym na wykorzystanie w bardzo szerokim zakresie danych z praktyki przemysłowej. Praca zawiera opis przeprowadzonego procesu badawczego, pełną identyfikację problemów pomiarowo-interpretacyjnych, analizę wyników oraz właściwie wyciągnięte wnioski.

Sposób opracowania rozprawy w sposób niezwykle przejrzysty świadczy w pełni o tym, że Doktorant posiada dużą wiedzę ogólną w dyscyplinie „Nauki o Ziemi i Środowisku”.

Rozprawa ma także znaczący element użyteczny, gdyż wyniki pracy są wdrażane w praktyce przemysłowej, w procesie interpretacji profilowań otworowych.

Niniejszym stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Stanisława Baudzisa spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20.07.2021 r. pn.: *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny: „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie mgr. inż. Stanisława Baudzisa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Równocześnie składam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej. Uważam, że bardzo szeroki zakres merytoryczny pracy doktorskiej i sposób jej przygotowania, w aspekcie przejrzystości, jakości prezentacji i przyjętej logistyki, znacznie wykraczają poza ramy tego typu prac.

Jestem przekonana o tym, że Doktorant jest dojrzałym naukowcem, umiejącym odpowiedzialnie zaplanować i zrealizować pracę naukowo-badawczą na odpowiednio wysokim poziomie, a zdobyte duże doświadczenie w pracy zawodowej w przemyśle naftowym tylko zwielokrotnia moją ocenę.

