

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza ŁĄTKI
pt. „Metoda oceny stopnia spękania ośrodka skalnego za pomocą
georadaru otworowego”

Rozprawa została wykonana w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Zenona PILECKIEGO prof. nadzw. IGSMiE PAN

1. WPROWADZENIE

Recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Tomasza Łątki pt. „*Metoda oceny stopnia spękania ośrodka skalnego za pomocą georadaru otworowego*” opracowałem na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie z dnia 04.04.2016r. o znakach AO – 520 - 6/14, które realizuje uchwałę nr 11/2016 Rady Naukowej Instytutu z dnia 01.04.2016r.

Stwierdzam, że przedmiotowa rozprawa mieści się całkowicie w dziedzinie nauk technicznych i w obszarze dyscypliny naukowej **górnictwo i geologia inżynierska**.

Wymieniony w tytule rozprawy doktorskiej problem naukowy, który jest przedmiotem rozprawy dotyczy badań geofizycznych realizowanych z wykorzystaniem techniki radarowej, przy użyciu georadaru otworowego, w celu oceny stanu spękania ośrodka skalnego. Doktorant w przedmiotowej rozprawie dąży do wykazania, że opracowana metodyka badań i interpretacji uzyskiwanych wyników może być efektywnym narzędziem dla rozwiązania konkretnego zadania geoinżynierskiego jakim jest rozpoznanie stanu spękania ośrodka skalnego.

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem 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 03.65.595 z dnia 16 kwietnia 2003r. wraz z późniejszymi zmianami). Zgodnie z tą ustawą rozprawa doktorska powinna być oryginalnym rozwiązaniem przez Doktoranta określonego zagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stąd metodologia oceny przyjęta w niniejszej recenzji koncentruje się na analizie następujących zagadnień:

- analizie i ocenie rozprawy,
- zasadności (teoretycznej i praktycznej) podjęcia przedmiotowego tematu rozprawy doktorskiej,

- prawidłowości sformułowania tezy rozprawy doktorskiej,
- ustaleniu jakie nowe zagadnienia naukowe Doktorant rozwiązał samodzielnie,
- ocenie poprawności przeprowadzonych w rozprawie analiz, obliczeń, uzyskanych wyników oraz sformułowanych na tej podstawie wniosków i stwierdzeń, zarówno pod względem fizycznym, matematycznym jak i geoinżynierskim,
- ocenie znajomości przez Doktoranta przedmiotu zagadnienia, specjalistycznej literatury, szczególnie aktualnej, jak i innych prac wchodzących w zakres tematyczny rozprawy doktorskiej.

2. ANALIZA I OCENA ROZPRAWY

Przedmiotowa rozprawa doktorska jest zwartym opracowaniem, w którym Autor zastosował nowatorskie podejście do rozwiązania ważnego problemu geoinżynierskiego jakim jest rozpoznanie stopnia spękania masywu skalnego. Uważam, że na wspomniane nowatorstwo składają się następujące elementy:

- zastosowaniu w tym celu jednej z najmłodszych metod geofizycznych, to jest metody radarowej,
- wykorzystanie georadaru otworowego,
- przeprowadzenie korelacji pomiędzy jednym z parametrów radarowych a wskaźnikiem RQD, będącym podstawowym wskaźnikiem geoinżynierskim w ocenie stopnia spękania ośrodka skalnego.

Treści rozprawy doktorskiej zawarte są w dziewięciu rozdziałach, zawierających wstęp oraz podsumowanie wraz z wnioskami końcowym, ponadto, spis literatury i streszczenia w języku polskim i angielskim. Spis literatury to 122 pozycje, wśród których Doktorant jest w 1 pozycji samodzielnym autorem, a w 4 współautorem. Całość rozprawy uzupełniają 3 załączniki, spis rysunków i fotografii oraz spis tabel. W sumie są to 193 strony, przy czym tekst zasadniczy liczy 128 stron.

Rozprawę można w zasadzie podzielić na dwie części, z których pierwsza zawarta w rozdziałach 3 i 4 charakteryzuje dwie główne metody wykorzystywane w pracy, stanowiące podstawę metodologiczną rozwiązywanego problemu. Mam tutaj na myśli metodę georadarową (rozdział 3) i metodę geoinżynierską opartą na określaniu wskaźnika RQD wykorzystującą podzielność rdzenia wiertniczego. Treści tej pierwszej części rozprawy są oparte na analizie literatury światowej w tym zakresie, a także częściowo na pracach doktoranta i promotora rozprawy.

Natomiast druga część rozprawy obejmująca rozdziały 5, 6 i 7 jest w pełni autorskim i oryginalnym rozwiązaniem sformułowanego problemu naukowego i praktycznego. Składają się na nią następujące elementy:

- opracowanie metodyki odpowiednio zaprojektowanych badań georadarowych, ukierunkowanych na określenie jako reprezentatywnego parametru wielkości amplitudy rejestrowanego sygnału radarowego (rozdział 5),

- wykonanie badań terenowych na konkretnym obiekcie geologicznym, obejmujących kompleksowe pomiary w otworach badawczych z zastosowaniem otworowej metody georadarowej oraz pobieranie rdzeni, na podstawie których określano wskaźnik RQD (rozdział 6),
- opracowanie i przeprowadzenie złożonego procesu przetwarzania i interpretacji, niezwykle liczebnego zbioru danych pomiarowych, w kontekście korelacji pomiędzy wartością średnich amplitud sygnału radarowego i wskaźnika RQD (rozdział 6),
- opracowanie klasyfikacji o nazwie **RQD-BGPR** dla oceny spękania ośrodka skalnego występującego w badanym rejonie (rozdział 6),
- dokonanie oceny wiarygodności opracowanej klasyfikacji poprzez jej porównanie z powszechnie stosowaną klasyfikacją stopnia spękania ośrodka skalnego RQD (rozdział 7).

Co do pozostałych rozdziałów rozprawy uważam za wartościowe, przy czym rozdział 1 stanowią rodzaj krótkiego wprowadzenia do treści przedmiotowej pracy, rozdział 2 określa cel, zakres i tezy rozprawy, natomiast rozdział 8 reasumuje zalety i ograniczenia opracowanej metody oceny spękania ośrodka skalnego za pomocą georadaru otworowego. Ostatni 9 rozdział rozprawy to podsumowanie wraz z wnioskami, które wynikają z treści poruszonych w przedmiotowej pracy doktorskiej.

Analizując rozprawę mgr inż. Tomasza Łątki należy, przede wszystkim, podkreślić olbrzymi nakład pracy jaki był związany praktycznie z wszystkimi etapami zrealizowanych badań, a w szczególności z procesem przetwarzania i interpretacji wyników oraz ze statystycznym opracowaniem finalnej klasyfikacji oceny spękania ośrodka skalnego wykorzystującej pomiary georadarem otworowym. Należy także wziąć pod uwagę fakt, że poligon badawczy był zlokalizowany w obszarze niecki bytomskiej w rejonie odcinka autostrady A-1 pomiędzy Piekarami a Bytomiem, a więc w strefie o silnie niejednorodnej strukturze ukształtowanej w wyniku prowadzonej w przeszłości płytkiej eksploatacji złóż rud cynku i ołowiu oraz głębszej eksploatacji pokładów węgla. To bardzo trudny rejon badawczy pod względem geologicznym i geoinżynierskim. Zakres badań georadarowych obejmował w sumie 146 otworów, spośród których w 69 otworach określono wskaźnik RQD na podstawie uzyskanych rdzeni wiertniczych. Głębokość otworów zawierała się w przedziale od kilkunastu do 70 metrów. Prowadzi to do łącznej długości około 2400m profili georadarowych, zarejestrowania około 500 tys. tras georadarowych, zawierających ponad 250 mln próbek. Te liczby potwierdzają wielką pracochłonność przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Ogólna ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Łątki jest **pozytywna** i uważam, że stanowi ona logiczną i spójną całość, konsekwentnie ukierunkowaną na rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Tym samym rozprawa pokazuje, że Doktorant posiada umiejętność stawiania celów naukowych i projektowania procesu badawczego dla ich rozwiązania. Oceniam przedmiotową rozprawę doktorską jako wartościową pracę, którą w pewnym sensie wyznacza nowy kierunek zastosowania

i wykorzystania metod geofizycznych w problematyce geoinżynierskiej. Na pewno przedmiotowa rozprawa stanowi cenny przyczynek naukowy w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska, szczególnie dla specjalności geofizyka.

Tym niemniej w trakcie analizy treści rozprawy nasunęły mi się pewne uwagi oraz pytania do Doktoranta, które zostały sformułowane poniżej.

Uwagi i pytania

1. W rozdziale 3 „*Badanie ośrodka skalnego metodą georadarową*” Doktorant przeprowadził szczegółową analizę stanu wiedzy na temat teorii zastosowania fal elektromagnetycznych i radaru impulsowego (georadaru) do rozpoznawania własności masywów skalnych. Z tej teorii niestety niewiele potem wykorzystuje w analizowanym przez niego zbiorze danych oraz opracowanej na tej podstawie metodzie, ograniczając się do znormalizowanych średnich amplitud sygnału georadarowego. Czym zatem było podyktowane takie postępowanie i ograniczenie ?
2. Jak się ma rozdzielczość zdjęcia radarowego uzyskanego z pomiarów w otworze przy użyciu zestawu anten o częstotliwości 100 MHz do rozdzielczości poziomej i pionowej opisanej wzorami w rozdziale 3 ? Czy kryterium $\frac{1}{4}$ długości fali (definiującej możliwość zauważenia przeszkody na drodze fali E-M) może być stosowane w analizie prezentowanych danych pomiarowych? Dla anteny o $f=100$ MHz w ośrodku o stałej dielektrycznej 9 oznacza to 0,25 m.
3. Opracowana w pracy doktorskiej klasyfikacja stopnia spękań ośrodka skalnego oparta na korelacji parametru amplitudy sygnału georadarowego i wskaźnika RQD jest słuszna tylko w odniesieniu do skał triasowych w północnej części GZW, co z pewnością stanowi dosyć istotne ograniczenie jej uniwersalności. Co będzie z taką klasyfikacją spękania w innych skałach, a w szczególności w skałach charakteryzujących się niską stałą dielektryczną i niską prędkością fali (np. w łowcach), gdzie głównym czynnikiem wpływającym na amplitudę sygnału jest zawartość wody a nie spękanie?
4. Jak będą wpływać na wyniki pomiarów georadaru otworowego, szczególnie na amplitudę sygnału radarowego, a tym samym na stabilność opracowanej korelacji i klasyfikacji RQD – BGPR, warunki panujące w otworze wiertniczym kształtowane, między innymi, przez technologię wiercenia.
5. W jaki sposób Doktorant uwzględnił odcinki braku rdzenia (pustki) w obliczeniach wskaźników RQD i BGPR-RQD oraz jaki to ma wpływ na określone zależności korelacyjne?
6. Czy będzie możliwe stosowanie techniki georadaru otworowego w otworach geologicznych o większych średnicach, ponad 80 mm ?
7. Czy granica pomiędzy dwoma odmiennymi warstwami litologicznymi jest spękaniami?

Oczywiście metoda georadaru otworowego posiada również szereg zalet, przedstawionych przez Doktoranta w 7 rozdziale rozprawy. Potwierdzają one sens tworzenia tego typu klasyfikacji dla oceny spękania ośrodka skalnego, opartych na kalibracji mierzonego parametru radarowego, tutaj znormalizowanej amplitudy sygnału radarowego, będącego impulsową odpowiedzią ośrodka skalnego. Podniesiony problem kosztów, wynikający z możliwości znaczącego ograniczenia liczby otworów rdzeniowych, jest tutaj istotnym parametrem przemawiającym za użytecznością opracowanej metodologii.

3. OCENA SPEŁNIENIA WYMOGÓW STAWIANYM PRACOM DOKTORSKIM

3.1. Zasadność wyboru tematu rozprawy

Problem oceny jakości ośrodka skalnego, szczególnie w zakresie przypowierzchniowej warstwy podłoża, która decyduje o stabilności obiektów inżynierskich budowanych na powierzchni ziemi, jest jednym z kluczowych w inżynierii budowlanej. Jednym z licznych przykładów może być tutaj budowa autostrad. Szczególnego znaczenia powyższy problem nabiera na terenach podlegających wpływom działalności górniczej, która wyraźnie przekształca strukturę wspomnianej warstwy podłoża. Stąd uważam, że Doktorant słusznie wykorzystał okazję jaką stanowiła praca dotycząca oceny jakości podłoża w rejonie autostrady A-1 budowanej na terenie pogórnym, o strukturze ukształtowanej przez płytka eksploatację złóż metali w obszarze niecki bytomskiej. Uzyskał dzięki temu obszerny zbiór unikalnych danych pomiarowych geofizycznych i geologicznych, w tym wskaźnika RQD. Oceniam więc jako w pełni zasadny pomysł wykorzystania tych danych i opracowania wzajemnej korelacji łączącej geofizyczny parametr, w postaci amplitudy sygnału georadarowego określanej w ustalonym miejscu otworu wiertniczego, ze spękaniami ośrodka skalnego w tym miejscu określonym w oparciu o wskaźnik RQD. Powstała w ten sposób oryginalna klasyfikacja stopnia spękań ośrodka skalnego jest, moim zdaniem, rozwiązaniem w pełni nowatorskim i niespotykanym w geofizyce inżynierskiej. Wnosi więc nowe wartości poznawcze, a także praktyczne, które pokazują jak można tego rodzaju rozwiązanie metodologiczne zastosować w konkretnych warunkach geologicznych.

Stąd uznaję wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Łątki za uzasadniony wspomnianymi potrzebami nauki i istotną możliwością praktycznego zastosowania.

3.2. Ocena tezy rozprawy

Teza sformułowana na stronie 7 pracy doktorskiej składa się z dwóch części, przy czym w mojej ocenie część pierwsza wydaje się dosyć trywialna. Związek charakterystyki propagacji pola elektromagnetycznego ze szczelinowatością ośrodka skalnego jest bowiem oczywisty podobnie jak i innych pól geofizycznych. Tym niemniej w pracy, w odniesieniu do tej części tezy, wykazano, że jeden z wybranych parametrów opisujących wspomnianą propagację pola elektromagnetycznego, to jest amplituda odbitego sygnału elektromagnetycznego, dobrze koreluje się ze stopniem spękania opisanym przez wskaźnik RQD. Natomiast druga część tezy dotyczy tego co należy udowodnić - i to zostało w pracy

wykazane - a więc przydatność i wiarygodność opracowanej klasyfikacji RQD – BGPR. Ta druga część tezy podkreśla i wskazuje na praktyczne walory rozwiązania będącego istotą przedmiotowej rozprawy.

3.3. Zagadnienia naukowe samodzielnie rozwiązane przez Doktoranta

Dostrzegam w przedmiotowej rozprawie co najmniej kilka istotnych i moim zdaniem oryginalnych rozwiązań, którym można przypisać autorstwo Doktoranta. Wymienię kilka z nich, moim zdaniem, najważniejszych :

- opracowanie metodyki oceny stopnia spękania ośrodka skalnego na podstawie rejestracji amplitudy sygnału radarowego uzyskiwanego georadarem otworowym; składa się ona z czterech etapów oraz schematu jasno określającego kolejne kroki postępowania (rys. 5.1.),
- wykonanie rozwiniętych i szczegółowych analiz z użyciem zaawansowanych narzędzi statystycznych dla opracowania zależności korelacyjnej pomiędzy amplitudą sygnału radarowego i wskaźnikiem RQD określanym na podstawie podzielności rdzenia wiertniczego,
- opracowanie finalnej klasyfikacji o nazwie RQD-BGPR oceny stopnia spękania ośrodka skalnego z podziałem na pięć klas (Ia, Ib, II, III, IV),
- przeprowadzenie weryfikacji wiarygodności opracowanej klasyfikacji RQD-BGPR.

3.4. Ocena poprawności przeprowadzonych analiz, uzyskanych wyników i wniosków.

W rozwiązaniu postawionego problemu geoinżynierskiego Doktorant musiał się wykazać:

- ✓ dobrym zrozumieniem fizycznej strony złożonego procesu propagacji fal elektromagnetycznych w ośrodkach skalnych, w tym o bardzo niejednorodnej strukturze,
- ✓ znajomością technik przetwarzania sygnałów elektromagnetycznych,
- ✓ umiejętnością wykorzystania zaawansowanych narzędzi informatycznych w procesie analizy dużych zbiorów danych pomiarowych.

Uważam, że wszystkie operacje zostały przeprowadzone prawidłowo i rzetelnie. Także za poprawne uznaje wnioski sformułowane na podstawie treści zawartych w rozprawie.

3.5. Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta

Doktorant, mgr inż. Tomasz Łątka wykazał się pełną znajomością specjalistycznych zagadnień związanych z problemem stanowiącym istotę jego rozprawy doktorskiej, co potwierdza, między innymi wykaz cytowanych pozycji literatury fachowej jak i jego dotychczasowy dorobek publikacyjnego. Przytoczona literatura wskazuje, że śledzi on rozwój badań w obszarze geofizyki inżynierskiej, z wyraźnym ukierunkowaniem na badania georadarowe, zarówno powierzchniowe jak i otworowe. Oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta mgr inż. Tomasza Łątkę jako bardzo dobrą.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej pt. „**Metoda oceny stopnia spękania ośrodka skalnego za pomocą georadaru otworowego**” autorstwa Pana mgr inż. Tomasza ŁĄTKI stwierdzam, że Doktorant :

- wykazuje odpowiedni poziom wiedzy w zakresie dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska, a w szczególności w specjalności geofizyka;
- posiada dobre przygotowanie fizyczno-matematyczne dla rozwiązywania złożonych problemów naukowych i co dowiódł tego w pełni w przedmiotowej rozprawie doktorskiej;
- posiada umiejętność samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz organizacji i prowadzenia procesu badawczego dla ich efektywnego rozwiązania wraz z analizą i prezentacją wyników;
- w pełni zrealizował założone cele rozprawy, która posiada istotne walory naukowe i praktyczne.

Tak więc, rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Tomasza ŁĄTKI w pełni spełnia wymagania Ustawy tytułach stopniach naukowych i tytułach naukowym oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr inż. **Tomasza ŁĄTKĘ** do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy.