

**Recenzja pracy doktorskiej**  
**mgr inż. Mateusza Jakubowskiego pt:**

**„Techniczno-ekonomiczne kryteria doboru struktury udostępnienia  
złoża polimetalicznego w warunkach ograniczonej informacji geologicznej  
na przykładzie projektu Victoria w Kanadzie.”**

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechniki Wrocławskiej z dnia 07.11.2017, oraz pisma Dziekana Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii z dnia 09.11.2017 r.

**Tematyka pracy**

Procesy decyzyjne związane z udostępnieniem złoża mają szczególne znaczenie nie tylko ze względu na geologiczne i górnicze uwarunkowania ale również ekonomiczny aspekt, związany z prowadzeniem efektywnej eksploatacji w całym cyklu życia projektu geologiczno-górniczego. Projekty te wymagają znaczących nakładów inwestycyjnych na etapach eksploracji, estymacji złóż oraz w fazie budowy kopalni i udostępnienia. Dodatkowo etapy te mają znaczenie w fazie operacyjnej wykorzystania projektu, gdyż poniesione wydatki i ich efekt, w postaci zaprojektowanego modelu kopalni, niosą za sobą ponoszenie kosztów zapadłych, tzn takich, które są efektem podjętych decyzji na etapie projektowania. W efekcie projekty geologiczno-górniczne cechują się niską elastycznością kosztową determinującą niedopasowanie struktury kosztów do zmieniającego się rynku zewnętrznego, charakteryzującego się cyklami koniunkturalnymi.

Podjęte w pracy problemy nabierają szczególnego znaczenia, w przypadku, gdy projekty geologiczno-górniczne stają się coraz bardziej skomplikowane, w których potencjalna eksploatacja będzie prowadzona na bardzo dużych głębokościach.

Złożone warunki geologiczne, górnicze, ale również geotechnika i hydrologia analizowanych złóż w połączeniu ze skojarzonymi ryzykami powoduje, że prowadzenie eksploatacji na dużych głębokościach wymusza rozwiązanie wielu problemów i wyzwań z punktu widzenia inżynierskiego. Jednocześnie zaproponowane rozwiązania muszą być atrakcyjne finansowo, aby projekt geologiczno-górniczy w fazie wydobycia zapewnił zwrot poniesionych nakładów na przygotowanie eksploatacji.

Recenzowana praca odnosi się do problemu udostępnienia złoża zalegającego na znacznej głębokości, charakteryzującego się niskim stopniem rozpoznania geologicznego. W świetle określonych warunków geologiczno - górniczych oraz stosowanych technik i technologii, zaproponowano w pracy opracowanie elastycznego modelu postępowania przy wyborze optymalnej struktury udostępnienia złoża, opartego o rozmyte reguły wnioskowania, uwzględniającego nieprecyzyjność otoczenia oraz metody scenariuszowe. Przykładem praktycznym, który posłużył dla potwierdzenia celu pracy oraz zrealizowanych badań literaturowych był projekt Victoria w Ontario w Kanadzie, będący aktywem KGHM International, funkcjonującym w grupie KGHM Polska Miedź SA.

Problematyka badawcza zaproponowana w pracy, dla rozwiązania przykładu praktycznego, została oparta na teorii zbiorów rozmytych. Zbiory rozmyte wraz ze swoim aparatem formalnym umożliwiają budowanie systemów rozmytych wspomagających aproksymacyjne algorytmy wnioskujące. Zasadnicze ich zalety w stosunku do tradycyjnych modeli matematycznych należy upatrywać w możliwościach ich konstruowania dla obiektów, o niskim poziomie informacji, które z kolei mogą być niepewne, subiektywne i nieprecyzyjne. Wykorzystanie systemów rozmytych w ujęciu sekwencyjnym polega m.in. na przetworzeniu ilościowych zmiennych wejściowych na pojęcia lingwistyczne, a następnie modelowaniu systemu w oparciu o reguły odzwierciedlając wiedzę ekspertów.

Przedstawiona metodologia teorii zbiorów rozmytych wydaje się właściwa dla rozwiązania podjętego w pracy problemu badawczego, związanego z udostępnieniem złoża o niskim poziomie informacji geologicznej.

**W związku z powyższym recenzowana praca ma szczególne znaczenie dla wspomagania procesów decyzyjnych związanych z przygotowaniem i udostępnieniem przyszłej eksploatacji realizowanej w formie projektu o określonym cyklu życia. Ich natura wskazuje, że faza operacyjna związana z wydobyciem kopaliny jest mocno zdeterminowana decyzjami podjętymi przed eksploatacją. Optymalne decyzje związane z udostępnieniem skutkują efektywnością projektu w całym okresie jego**

**funkcjonowania aż do jego likwidacji. Miarą wspomnianej efektywności jest zazwyczaj zwrot z inwestycji dla inwestorów, którzy podjęli ryzyko zaangażowania kapitału.**

**Doktorant wskazując określone rozwiązania, wpisuje się w istotny nurt prac naukowych poruszających strategiczne problemy rynku górniczego.**

### **Ocena struktury pracy w świetle realizacji tematyki i celu głównego.**

Recenzowana praca jest podzielona na dwie logiczne części: teoretyczną i aplikacyjną. Część teoretyczna obejmuje cztery rozdziały badań literaturowych natomiast część aplikacyjna jest podzielona na dwa rozdziały. Całość kończą podsumowanie i wnioski, które w ujęciu syntetycznym zawierają najważniejsze wyniki z przeprowadzonych badań i analiz.

Ogólnie praca z zaprezentowanymi badaniami merytorycznymi i praktycznymi oraz ze spisami tabel, rysunków i bibliografią obejmuje 249 stron.

Tematyka i cel pracy znajdują odzwierciedlenie w układzie recenzowanej pracy. Jej struktura jest przejrzysta, z jasnym i zaznaczonym podziałem między częścią teoretyczną a częścią aplikacyjną. Ta pierwsza dotyczy badań literaturowych, koncentrujących się wokół zagadnień udostępnienia złóż metodami podziemnymi oraz multikryterialnymi procesami decyzyjnymi. W tej części pracy została zaprezentowana również propozycja algorytmu selekcji struktury udostępnienia oparta na metodologii zbiorów rozmytych. Część aplikacyjna obejmuje ogólną charakterystykę uwarunkowań geologiczno-górnich projektu Victoria, będącego przedmiotem analizy oraz rozwiązanie problemu optymalnego jego udostępnienia przy zastosowaniu wcześniej zaproponowanego rozmytego algorytmu decyzyjnego.

Szczegółowa analiza poszczególnych rozdziałów pozwala dostrzec próby rozwiązania określonych problemów naukowych.

W rozdziale pierwszym zaprezentowano metody udostępnienia złóż surowców mineralnych w świetle analiz literaturowych. Wskazano obecne trendy w górnictwie światowym związane z przygotowaniem złoża do eksploatacji oraz zidentyfikowano zalety i wady każdej z rozważanych metod.

Rozdział drugi zawiera tezę i cel pracy, będące efektem analizy stanu literatury w świetle rozwiązania problemu podjętego w pracy. Jednocześnie scharakteryzowano jej zakres, identyfikując logikę zaproponowanej struktury zgodnie z przyjętą tematyką pracy.

W rozdziale trzecim przedstawione zostały teoretyczne zagadnienia związane z multikryterialnymi procesami decyzyjnymi. Wskazano problem złożoności selekcji w

przypadku posiadania wielu alternatyw z licznymi kryteriami wyboru. W efekcie, wskazano matematyczną koncepcję zbiorów rozmytych jako narzędzia wspomagającego proces decyzyjny w obszarze udostępnienia złoża surowców mineralnych, charakteryzującego się niskim stopniem rozpoznania geologicznego.

Rozdział czwarty stanowi, proponowany przez doktoranta, rozmyty algorytm decyzyjny w odniesieniu do selekcji struktury udostępnienia złoża metodą podziemną przy uwzględnieniu kryteriów geologicznych, górniczych i ekonomicznych. W świetle danych wsadowych, które mogą mieć charakter nienumeryczny oraz niezupełnie precyzyjny, zaproponowana została metodologia oceny uwzględniająca sprzeczne ewaluacje określonych kryteriów przez różne grupy interesariuszy. Jednocześnie proces postępowania został zidentyfikowany w pięciu etapach.

Rozdział piąty został zidentyfikowany w obszarze aplikacyjnym pracy. Dotyczy ogólnej charakterystyki projektu Victoria w Kanadzie, który stanowi przedmiot badań i analiz, mających potwierdzić badania literaturowe przeprowadzone w teoretycznej części pracy. Została scharakteryzowana dotychczasowa działalność eksploracyjna związana ze złożem polimetalicznym, opisano stan rozpoznania złoża w świetle kanadyjskich standardów, zidentyfikowano warunki geologiczno-górnice zalegania złoża na dużej głębokości i wskazano potencjalne ryzyka słabego jego rozpoznania geologicznego.

W rozdziale szóstym przeprowadzono weryfikację teoretycznego modelu rozmytego algorytmu decyzyjnego w warunkach projektu Victoria. Na podstawie wskazanego przykładu praktycznego wskazano złożoność problemów w procesie decyzyjnym w świetle różnych grup interesariuszy dla projektu udostępnienia złoża. Efektywne rozwiązanie problemu przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych pozwoliło na ustalenie rankingu alternatywnych wariantów przy uwzględnieniu preferencji trzech grup: specjalistów branżowych, członków nadzoru korporacyjnego oraz docelowych użytkowników projektu.

Całość pracy kończy rozdział siódmy, który obejmuje najważniejsze wnioski. Stanowią one podsumowanie analiz praktycznych. Jednocześnie, syntetyczne ujęcie problemów podkreśla realizację tematyki i celu głównego.

## **Merytoryczna ocena pracy**

Doktorant podjął w pracy ważny problem wyboru udostępnienia złoża surowców mineralnych przy jego niskim poziomie rozpoznania geologicznego. W kontekście strategicznym etap przygotowania złoża do eksploatacji jest istotnie ważny, gdyż determinuje efektywność prowadzonej działalności w całym cyklu życia. Natura projektu geologiczno-górniczego związanego z wydobywaniem kopaliny charakteryzuje się etapowością, w przypadku której przychody i koszty uzyskiwane z wykorzystania inwestycji w złoża są zdeterminowane decyzjami na etapach eksploracji, estymacji i udostępnienia. Nakłady finansowe ponoszone we wskazanych etapach i ich przeznaczenie skutkują zapadłością działań operacyjnych w fazie eksploatacji złoża. Oznacza to, że udostępnienie złoża ma charakter strategiczny, decydując długookresowo o efektywności finansowej projektów geologiczno-górnich.

W związku z powyższym, tematyka podjęta przez Doktoranta wpisuje się w ważne problemy branży górniczej, w której przedsiębiorstwa wydobywcze muszą szukać optymalnych decyzji na etapie przygotowania i udostępnienia. Posiadanie niepełnej informacji geologicznej i złożoność warunków ograniczających, w świetle technicznych, górniczych i ekonomicznych uwarunkowań, wymusza poszukiwanie narzędzi wspierających proces decyzyjny. Musi on uwzględniać interesariuszy oraz ich cele w stosunku do realizowanych projektów geologiczno-górnich ukierunkowanych na kreowanie wartości zrównoważonej.

Przeprowadzone analizy mogą stanowić praktyczne wsparcie procesów zarządczych realizowanych w praktyce.

Za ważne osiągnięcia naukowe Doktoranta można uznać:

- w obszarze badań literaturowych:

1. usystematyzowanie czynników charakterystycznych dla prowadzenia robót udostępniających przy przygotowaniu złoża do eksploatacji,
2. zdefiniowanie kluczowych czynników sukcesu w procesach decyzyjnych w górnictwie w świetle eksploracji, estymacji i udostępnienia złoża na dużych głębokościach,
3. wskazania możliwości wykorzystania wielokryterialnych metod podejmowania decyzji w branży górnictwa surowców mineralnych,
4. skonstruowanie modelu bazującego na rozmytym algorytmie wspomaganie decyzji w górnictwie,

- w obszarze badań praktycznych najważniejszym osiągnięciem jest weryfikację zaproponowanego modelu na przykładzie projektu Victoria w Kanadzie ale w szczególności należy zaznaczyć:

1. wydzielenie grup interesariuszy projektu i zidentyfikowanie ich w trzech zespołach z przypisanymi wagami istotności ich preferencji: specjaliści branżowi, nadzór korporacyjny, użytkownicy projektu,
2. zidentyfikowanie struktury preferencyjnej interesariuszy przy uwzględnieniu kryteriów geologicznych, górniczych, ekonomicznych, harmonogramowych, formalno - prawnych,
3. zdefiniowanie alternatyw udostępnienia złoża w projekcie Victoria i usystematyzowanie ich w kontekście korzyści dla procesów eksploracji, estymacji i potencjalnej eksploatacji,
4. uzyskanie rankingu alternatyw udostępnienia złoża, przy uwzględnieniu złożonych i sprzecznych preferencji wydzielonych grup interesariuszy projektu.

**Podsumowując, osiągnięcia naukowe recenzowanej pracy należy rozpatrywać pozytywnie.**

### **Uwagi dyskusyjne i krytyczne**

Uwagi dyskusyjne i krytyczne zostały zdefiniowane w trzech obszarach:

1. Uwagi dotyczące struktury pracy.
2. Uwagi merytoryczne dotyczące zaprezentowanych treści.
3. Uwagi techniczne pod kątem przyszłej możliwości publikacji.

### **Uwagi dotyczące struktury pracy**

Struktura pracy podzielona na część teoretyczną i aplikacyjną jest zasadna i logiczna, jednak charakteryzuje się nierównomiernością, związaną z dużą przewagą części praktycznej.

Część teoretyczna obejmuje cztery rozdziały, które dotyczą zagadnień związanych z analizą literatury. Wydaje się, że rozdział dotyczący tezy pracy i celu głównego powinien poprzedzać dociekania naukowe i stanowić pewne wprowadzenie dla podejmowanych problemów. Można się zastanawiać czy nie warto byłoby przenieść, przed dwie wydzielone części pracy, osobnego i ogólnego rozdziału, gdzie zaprezentowane zostałyby najważniejsze

problemy, oraz wynikające z nich tezy i cel, a także scharakteryzowana zostałaaby, struktura pracy odzwierciedlająca cele cząstkowe podjętej tematyki.

Powyższe, wydaje się tym bardziej zasadne gdyż teza pracy odwołuje się do rozwiązania problemów w dwóch obszarach tj. zastosowania teorii zbiorów rozmytych i jej implementacji w praktyce górniczej związanej z udostępnieniem złoża.

Przyjęty w pracy cel główny powinien być podzielony na wyraźnie wydzielone cele cząstkowe w obszarze teoretycznym i aplikacyjnym. Pomogłoby to rozbudować zakres przyjętych zadań w obszarze aplikacyjnym, które w stosunku do zakresu teoretycznego zostały zbyt powierzchownie potraktowane.

W rozdziale czwartym zaprezentowany tytuł sugeruje przedstawienie algorytmu selekcji metod udostępniania złoża metodą podziemną. Natomiast analiza zaprezentowanych treści koncentruje się na krokach, które w sposób ogólny przedstawiają metodologię postępowania bez odwoływania się do praktyki górniczej. Wydaje się zasadne aby już na tym etapie nawiązywać do problemów związanych z udostępnieniem złoża, a w części aplikacyjnej skierować model do rozwiązania konkretnego przykładu projektu Victoria w Kanadzie cechującego się określonymi parametrami geologiczno-górnictwymi.

W rozdziale szóstym, w części dotyczącej charakterystyki alternatyw udostępnienia złoża, kryteria geologiczne i górnicze zdominowały uwarunkowania finansowe.

Podsumowanie pracy przedstawia najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz jednak po przestudiowaniu struktury pracy można uznać, że powinny one obejmować nie tylko najważniejsze efekty badań aplikacyjnych ale również powinny zawierać wyniki z analiz literaturowych zawartych w części teoretycznej.

### **Uwagi dotyczące zagadnień merytorycznych**

Przestawiona w rozdziale czwartym metodologia wyboru najlepszego wariantu udostępnienia złoża według etapów, zaprezentowanych przez Doktoranta, jest wartościowa z punktu widzenia całej pracy jednak charakteryzuje się dużą subiektywnością. Wynika ona m.in. z doboru interesariuszy analizowanego problemu oraz ich wiedzy i świadomości w doborze kryteriów struktury preferencyjnej.

W rozdziale szóstym, w części dotyczącej wyboru struktury referencyjnej dla analizowanego projektu Victoria, część z kryteriów budzi wątpliwości związane z pomiarem np. „elastyczność operacyjna przyjętego rozwiązania”. Jednocześnie niektóre kryteria są opisane przez wskaźniki, które mają sens w przypadku jednoczesnego ich zastosowania w

określonej strukturze czasowej. Dotyczy to porównywania projektów w określonym cyklu życia lub doprowadzeniu do ich porównywalności.

W rozdziale szóstym, w części dotyczącej charakterystyki rozpatrywanych alternatyw udostępnienia brakuje uporządkowania zakresu technicznego wymaganych robót związanych z konkretnym wariantem. Usystematyzowana struktura oparta na harmonogramie prac pozwoliłaby na lepsze przyporządkowanie analizowanych kryteriów geologicznych i górniczych do danego scenariusza. W efekcie zaprezentowanie geologicznych i górniczych kryteriów nie do końca pozwala na jednoznaczne przypisanie do wariantu.

Przyjęte kryteria finansowe, zostały przedstawione do każdej z alternatyw natomiast trudno zweryfikować zaprezentowane wyniki i efektywność poszczególnych wariantów.

Metodologie finansowe przedstawione w rozdziale szóstym, z jednej strony dają informacje o nakładach i efektywności analizowanych wariantów pod kątem NPV, dodatkowo z podziałem na część eksploracyjną i eksploatacyjną ale z drugiej strony nie pozwalają zidentyfikować uwzględnienia wartości rezydualnej analizowanych wariantów.

#### **Uwagi techniczne (pod kątem przyszłej publikacji)**

Praca napisana została w formie bezosobowej, natomiast można znaleźć wyrażenia o charakterze osobowym.

Wydaje się koniecznym ponumerowanie wzorów matematycznych dla lepszego powiązania i zrozumienia opisywanych problemów.

W pracy występują drobne błędy literowe i powtórzenia, które zostały już uzgodnione z Doktorantem.

#### **Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Mateusza Jakubowskiego pt „Techniczno-ekonomiczne kryteria doboru struktury udostępnienia złoża polimetalicznego w warunkach ograniczonej informacji geologicznej na przykładzie projektu Victoria w Kanadzie” stanowi oryginalny i samodzielny dorobek naukowy.

Zrealizowana praca dotyczy dyscypliny naukowej „górnictwo i geologia inżynierska” i świadczy o ogólnej wiedzy teoretycznej Doktoranta oraz jego umiejętnościach do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w tej dyscyplinie.



Doktorant sformułował tezę oraz cel główny zgodnie z tematyką pracy i zdefiniował cele cząstkowe wspierające realizację przyjętych założeń. Ogólny układ pracy odzwierciedla logiczne powiązania rozwiązywanych problemów naukowych. Za szczególnie wartościowe należy uznać dociekania naukowe związane propozycją algorytmu rozmytego procesu decyzyjnego do wspomagania problemów udostępnienia złóż surowców mineralnych i jego aplikację w warunkach projektu Victoria.

**Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana praca doktorska Pana mgr inż. Mateusza Jakubowskiego spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. i wnoszę do Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

